

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE-FUNDED EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER
PROFESSIONAL EDUCATION
SIBERIAN STATE ACADEMY OF GEODESY

VIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2012

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Сборник материалов

VIII International Scientific Congress and Exhibition

INTEREXPO GEO-SIBERIA-2012

PLENARY SESSION

Proceedings

Новосибирск / Novosibirsk
СГГА / SSGA
2012

УДК 528
С26

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск : Пленарное заседание : сб. материалов. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 243 с.

ISBN 978-5-87693-524-3

ISBN 978-5-87693-506-9

В сборнике опубликованы материалы VIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012», представленные на пленарном заседании.

The proceedings include presentations presented at plenary sessions of VIII International scientific congress “Interexpo GEO-Siberia-2012”.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГГА

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528

ISBN 978-5-87693-524-3

ISBN 978-5-87693-506-9 © ФГБОУ ВПО «СГГА», 2012

Сборник включен в систему РИНЦ.

СОДЕРЖАНИЕ

А.П. Карпик. Современное состояние и проблемы геоинформационного обеспечения территорий.....	7
Райнер Ягер, Петер Шпон, Т. Шайхутдинов, Т.И. Горохова, А.Ю. Янкуш. Математические модели и техническая реализация GOCA – онлайн-системы геодезического мониторинга и оповещения о деформациях природных и техногенных объектов, основанная на точных спутниковых (GNSS) и наземных геодезических наблюдениях (LPS/LS).....	13
Джоел ван Кроненброк. Современное состояние решения задач геодезического мониторинга сооружений для плотин ГЭС	35
Фолькер Швигер, Ли Чжан. Автоматизированный геодезический мониторинг с применением Недорогой GNSS.....	52
Джоел ван Кроненброк, Винсент Луи. Причины успеха и неудач проекта ГНСС инфраструктуры для позиционирования в режиме реального времени.....	61
Иво Милев, Николас Штудницка, Геральд Зах. Применение мобильной сканирующей системы RIEGL VMX-450 для съемки объектов железнодорожной инфраструктуры	74
Ханну Корпела. Съемка трамвайных путей в Хельсинки с помощью мобильной лидарной системы	86
Райнер Ягер. Профиль, платформы и алгоритмы для out- and indoor навигации и определения положения объектов с помощью мобильных устройств на базе GNSS/MEMS технологий	89
Готтфрид Конечный. Новые технологии и их перспективы для геоинформатики	106
Готтфрид Конечный. Геоинформационные технологии и управление в кризисных ситуациях	113
Ю.Г. Райзман. Планирование аэросъемки в эпоху цифровой фотографии или от попереченого перекрытия к уклону зданий	116
Е. Левин, Гай Хемброфф. OpenPhotogrammetry – концепция структуры открытой системы обмена результатами исследований с открытым исходным кодом.....	123
И. Ветцель. Динамичные ГИС и ценность геоданных	136
И. Ветцель. Представление обновленной линейки продуктов Erdas и Intergraph	140
Энхтуя Содном. Система высот Монголии.....	144
Хаген Грефф, Йенс Рикен. Немецкий подход к интегрированной кадастровой системе в контексте инфраструктуры пространственных данных	154
Ингольф Бурштедде. Комплексное административное управление недвижимостью в Баку	156
Иржи Лехнер, Карел Радей. Автоматизированная гидростатическая система на объектах атомной электростанции Темелин.....	164

Оюунцэцэг Даш, Улзийсайхан Ганболдын. Выбор проекции тематических карт Монголии	172
Оюунцэцэг Даш. Топографические карты – основа пространственных данных геоинформационных систем Монголии.....	175
А.Я. Гиенко, Г.А. Гиенко, М.О. Говоров. Геоинформационное картографирование и мониторинг изменения окружающей среды ...	177
Карел Радей. Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии – единственный в Чешской Республике	185
Удвалцэцэг Гэндаваа, Хулан Борчулуун. База геоданных для бассейна реки Туул.....	192
А.А. Бучнев, В.П. Пяткин. Некоторые вопросы тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли.....	198
Д.В. Лисицкий. Инструментальная справочно-аналитическая ГИС – новый геоинформационный инструмент для широкого круга пользователей	208
Н.Б. Ялдыгина. Инновационные возможности космических технологий в комплексных проектах компании «Совзонд».....	215
А.В. Земцова, Ж.Д. Байгурин. О развитии геодезических работ на геодинамических прогностических полигонах в Республике Казахстан	218
А.И. Каленицкий, Э.Л. Ким, В.А. Середович. Об особенностях мониторинга техногенной геодинамики в районах интенсивного извлечения нефти и газа	223
В.А. Малинников, А.А. Майоров, Юрген Оберст. Геодезия, картография и исследование планет и спутников	231

CONTENTS

A.P. Karpik. Current state and problems of territories GIS support	7
Reiner Jäger, Peter Spohn, T. Shaykhutdinov, T. Gorokhova, A. Yankush. GNSS/LPS/LS based online control and alarm system (GOCA) - mathematical models and technical realization of a scalable system for natural and geotechnical deformation monitoring and analysis	14
Joël van Cranenbroeck. State of the art in structural geodetic monitoring solutions for hydro power dams.....	35
Volker Schwieger, Li Jhang. Automated geodetic monitoring by low-cost GNSS	52
Joël van Cranenbroeck, Vincent Lui. The reasons to succeed and to fail a GNSS RTK positioning infrastructure project	61
Ivo Milev, Nikolaus Studnicka, Gerald Zach. Rail infrastructure measurement system based on RIEGL VMX-450 MLS	74
Hannu Korpela. Helsinki tram line survey by mobile lidar system.....	86
Reiner Jäger. Profil, plattformen und algorithmen für die präzise GNSS/MEMS basierte out- und indoor-navigation und objekt-georeferenzierung mit mobilen endgeräten	89
Gottfried Konecny. Technology innovations and their challenges for geoinformatics.....	106
Gottfried Konecny. Geoinformation Technologies and disaster management .	113
Y. Raizman. Flight planning for the digital era.....	116
Euegene Levin, Guy Hembroff. OpenPhotogrammetry – concept of open-source free collaborative framework	123
Iryna Wetzel. The Dynamic GIS and the Value of Geospatial.....	136
Iryna Wetzel. The new product portfolio Erdas & Intergraph	140
Enkhtuya Sodnom. Mongolian height system	144
Hagen Graeff, Jens Riecken. Germany`s approach for an integrated cadastre system in the context of spatial data infrastructure (SDI)	154
Ingolf Burstedde. Corporate real estate management in Baku, Azerbaijan	156
Jiří Lechner, Karel Raděj. Automated hydrostatic system at the nuclear power station Temelín	164
Oyuntsetseg Dash, Ulziisaikhan Ganbold. The rationality of map projection for thematic maps in Mongolia.....	172
Oyuntsetseg Dash. Topographic maps – the base of the spatial data GIS of Mongolia	175
A.Ya. Gienko, G.A. Gienko, M.O. Govorov. Geo-information and change detection techniques for ecological assessment of natural resources	177
Karel Raděj. Research institute of geodesy, topography and cartography - the only one in the Czech Republic	185
Udvaltsetseg Gendavaa, Khulan Borchuluun. Geodata base for the Tuul river basin	192
A.A. Buchnev, V.P. Pyatkin. Some problems of the Earth remote sensing data thematic processing.....	198

D.V. Lisitsky. Reference-analytical GIS tool as a new geoinformation instrument for a wide range of users	208
N.B. Yaldygina. Innovative technology opportunities in complex space projects of Sovzond company	215
A.V. Zemcova, Z.D. Bajgurin. On the development of geodesy at the geodynamic prognostic test sites in the Republic of Kazakhstan	218
A.I. Kalenitsky, E.L. Kim, V.A. Seredovich. Features of technogenic geodynamics monitoring in regions of intensive oil and gas production .	223
V.A. Malinnikov, A.A. Maiorov, Yurgen Oberst. Geodesy, cartography and planets and satellites research	231

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Александр Петрович Карпик

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор, ректор, тел. (383)343-39-37, e-mail: rectorat@ssga.ru

Рассмотрено современное состояние вопроса о геоинформационном обеспечении территорий, обозначены главные проблемы, которые испытывают территории по геоинформационному обеспечению в современных условиях.

Ключевые слова: геоинформационное обеспечение, территория, геоинформационное пространство.

CURRENT STATE AND PROBLEMS OF TERRITORIES GIS SUPPORT

Alexandr P. Karpik

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), Russia, Novosibirsk 630108, 10 Plohotnogo St; Ph. DSc, Prof., rector, tel. (383)343-39-37, e-mail: rectorat@ssga.ru

The current state of geoinformation support of territories is considered, the main problems territories have on geoinformation support in modern conditions are shown.

Key words: geoinformation support, territory, geoinformation field.

Современная геодезия охватывает, в широком смысле, междисциплинарный научный и производственный комплекс, предназначенный для определения формы, размеров и гравитационных полей Земли, топографических съемок и картографического изображения ее поверхности, для обеспечения решений оборонных, экологических, управленческих и разнообразных инженерных задач, что составляет содержание геодезического обеспечения территорий.

До сравнительно недавнего времени геодезическое обеспечение территорий характеризовалось отраслевой и картографической специализацией. Геодезическая отрасль на основе заявок других отраслей создавала геодезические сети и топографические карты и формировала геодезическо-картографические территориальные фонды, которые использовались геодезическими службами других отраслей для создания специализированных геодезических сетей и тематических графических карт. Последние использовались для планирования, проектирования, управления, отраслевого изучения территории и создания геодезическо-картографических отраслевых фондов. При этом комплексное использование отраслевых материалов, особенно графических карт разных отраслей, являлось чрезвычайно сложной и трудоёмкой задачей.

Развитие экономики и общества в современных условиях неразрывно связано с многогранной актуальнейшей проблемой человечества – обеспечением устойчивости его развития. Проявление этой проблемы выражается чаще всего в необходимости взаимной увязки всех решений сферы управления и обеспечения жизнедеятельности общества локального, регионального и глобального уровней иерархии территорий. Соответственно возрастает необходимость междисциплинарных исследований и комплексного межотраслевого подхода к выработке решений. А это, в свою очередь, требует организации совместного комплексного использования информационных ресурсов различных отраслей. Применительно к пространственным информационным ресурсам это требование сводится к интегрированию различной тематической информации об объектах территории на единой пространственно-координатной основе, что является предметом геодезии.

Таким образом, в соответствии с новыми потребностями экономики и общества, усложнением окружающей среды за счёт техногенной составляющей, рамки геодезического обеспечения существенно расширяются, а его содержание изменяется.

Сущность геодезического обеспечения территорий составляет комплекс процессов создания, представления, актуализации и использования пространственной информации на основе геодезического метода определения пространственного положения и формы предметов (включая процессы, явления и события) окружающего мира в геодезических системах координат.

На современном этапе развития экономики и общества перед геодезическим обеспечением встали новые цели и задачи, вытекающие из концепции устойчивого развития территорий, и новые возможности, обусловленные новыми техническими и технологическими достижениями.

В качестве новой цели геодезического обеспечения устойчивого развития территорий выступает потребность в интегрировании на единой пространственной основе информации различных отраслей экономики и жизни общества в общее информационное пространство, построенное на единой идеологии, единых принципах и удовлетворяющее единым требованиям. Следовательно, современное геодезическое обеспечение должно удовлетворять этим новым целям, условиям, требованиям: во-первых, быть основой для взаимной увязки и совместного использования множества природных и экологических характеристик и, во-вторых, позволять сохранять и сопоставлять модели состояний территории современных и прошлых периодов. Кроме того, обязательным является требование предоставлять результаты в цифровой форме, обеспечивающей компьютерный анализ и геоинформационную обработку данных.

Новые технические и технологические возможности базируются на новых методах и средствах сбора и компьютерной обработки пространственных данных. Методы определения положения точек местности вышли в последние годы на новый качественный уровень в связи с применением спутниковых технологий, электронных тахеометров, лазерного сканирования и дистанционного зондирования с использованием цифровых методов.

Моделирование окружающего пространства стало осуществляться в цифровой форме с соблюдением требований компьютерного восприятия, пространственно-временной четырехмерности, совместимости и согласованности моделей разного масштаба и тематического назначения. Появились новые компьютерные технологии накопления, обновления и использования геопространственных данных в геодезических территориальных банках данных. Все более широкое применение находят геоинформационные системы (ГИС).

В силу приведенных причин, требований и условий в геодезии в настоящее время активно формируется и развивается новое комплексное направление, связанное с применением современных геоинформационных методов для получения и использования пространственной информации о территориях всех иерархических уровней.

В процессе становления и формирования указанного направления возникла крупная научная проблема приведения геодезического обеспечения территорий в соответствие с современными требованиями на новой методологической и технологической информационной основе с учетом потребности в их устойчивом развитии.

Системное решение указанной проблемы возможно путем формирования нового уровня геодезической деятельности – геодезического информационного обеспечения. Он представляет обобщающий продукт развития этого комплексного направления в виде целостной геодезической пространственной информационной системы (ГПИС) обеспечения устойчивого развития территорий, ориентированной на формирование и использование единой компьютерно структурированной системы информации о территории, названной нами геоинформационным пространством.

Технические достижения в области геодезических методов и технологий, их доступность и простота в использовании обусловили существенное расширение областей их применения непосредственно в технологических процессах отраслей экономики. Поэтому геодезическая пространственная информационная система базируется на включении методов геодезии непосредственно в технологические информационные отраслевые процессы, что обеспечивает получение тематической пространственно-привязанной информации сразу как части геоинформационного пространства, пригодной для междисциплинарного использования. Кроме того, при решении любой пространственной задачи для территории **предметом обработки является только пространственная (координатная) информация**, получаемая только геодезическими методами, независимо от отрасли.

Это создает предпосылки для интегрирования отраслевых информационных фондов на единой пространственной основе.

Таким образом, геодезическое обеспечение территорий в современных условиях должно приобрести новую форму системного интегрирующего компонента, предназначенного для формирования и использования общего многоаспектного геоинформационного пространства, отображающего всю совокупность пространственных характеристик территорий. Следовательно,

соответствующим образом должна измениться методология выполнения геодезических работ. Реализация рассматриваемой научной проблемы путем разработки геодезической пространственной информационной системы является актуальной и имеет важное народно-хозяйственное значение.

Согласно [1], геоинформационное обеспечение – это новый, развивающийся на основе компьютерных и геоинформационных технологий вид деятельности по удовлетворению экономических и общественных потребностей в многоаспектной пространственной информации о территориях и их производных, путём сбора пространственных данных, формирования геоинформации, её интеграции в единое геоинформационное пространство, мониторинга, моделирования территории, пространственного анализа, подготовки пространственных решений, визуализации и распространения.

Современное состояние геоинформационного обеспечения характеризуется следующим:

1. Недостаток теоретических разработок. Имеются незавершённые дискуссионные работы по терминологии, объекту исследования геоинформатики. Разработаны методики простейшего моделирования пространственных объектов и пространственного анализа. Имеются отдельные методики пространственных решений.

2. Хорошее геоинформационное программное обеспечение, в основном удовлетворяющее современные практические потребности разработки и эксплуатации ГИС на этапах сбора геоинформации, преобразования проекций и систем координат, моделирования пространственных объектов, пространственного анализа.

3. ГИС создаются, в основном, для решения конкретных отраслевых задач, например, земельный и градостроительный кадастры, транспортные задачи, предприятия нефтегазового комплекса и др. Разработке территориальных межотраслевых ГИС препятствуют межведомственные разногласия и отсутствие теоретической базы, гарантирующей значительную продолжительность жизни и развитие системы.

4. Геоинформационное обеспечение в сознании большинства специалистов, с одной стороны, тесно связано с геодезическо-картографическим обеспечением территорий [2] и, с другой стороны, органически входит в качестве элемента информационного обеспечения всех отраслей народного хозяйства, осуществляющих свою деятельность на территориях, как это схематически изображено на рисунке [3].

Заметим, что использование геоинформационного обеспечения территории во многих отраслях не является основанием для их объединения в единую сферу деятельности и на основе одной научной дисциплины – геоинформатики. Это подобно тому, как использование теории, программ и методик экономического анализа или бухгалтерского учёта не даёт основания для объединения всех отраслей в дисциплины экономического анализа или бухгалтерского учёта.



Рис. Связь геоинформационного обеспечения территории с отраслями народного хозяйства

Геодезическое обеспечение территорий также используется многими отраслями, и применение геоинформационных технологий в геодезии позволяет выполнять его на современном научно-техническом уровне и повышать его эффективность.

В современных условиях в России в связи с затянувшимися процессами реформирования геодезической отрасли наблюдается неопределенность. С одной стороны, противоречие между стремительным ростом технологий в геодезической отрасли и их квалифицированным потреблением для решения задач информационного общества все более обостряется и увеличивается. С другой стороны, наблюдается технологический прорыв геоинформационного обеспечения различных отраслей, и это, как правило, осуществляется непрофессионально, на рынок выходят так называемые «бизнесмены», которые хотят сколотить в этой неразберихе капитал.

Что же происходит? Прежде всего, последние 15 лет наблюдалось падение позиций главной геодезической службы – от ГУГиК при СМ СССР и Роскартографии при Правительстве РФ до отдела картографии в новой структуре Росреестра. В настоящее время организовано ОАО «Роскартография» – одно предприятие на огромную Россию. Аналогов «развития» геодезической службы, как в России, в мире нет. Напротив, во всех развитых странах мира существуют национальные геодезические службы, которые решают широкий спектр задач – от внешних до региональных, муниципальных и промышленных, а также гражданских. Развивающиеся страны при поддержке МФГ идут по такому же пути, усиливая свои позиции в области геодезии.

Произошло перераспределение функций в геодезической отрасли между Федерацией и субъектами РФ. Возможно, это и правильно. Но что является объединяющим и направляющим органом со стороны государства?

Территории получили определенные полномочия, но здесь та же проблема – отсутствие профессионального органа, объединяющего и реализующего широкий спектр задач геодезического информационного обеспечения территорий на единой пространственной основе для всех отраслей экономики субъекта Федерации.

Сформулируем основные проблемы геоинформационного обеспечения современного общества и территорий в РФ:

1. Отсутствие государственного органа, регулирующего геодезическую деятельность на уровне Федерации.
2. Отсутствие регулирующего и контролирующего органа в области геодезического информационного обеспечения территорий в субъектах РФ.
3. Углубляющаяся межотраслевая разобщенность на федеральном и региональном уровнях.
4. Отсутствие нормативно-правовых актов, регулирующих геодезическую деятельность.
5. Противоречия между техническим и технологическим прогрессом в области геодезии и нормативными регламентами, определяющими правила геодезического информационного обеспечения различных отраслей экономики. Существующие регламенты «запрещают» применение новейших технологий.
6. Профессиональная некомпетентность руководителей и их персонала, использующих результаты геоинформационного обеспечения для решения задач соответствующей отрасли.

В настоящее время в ряде регионов России проявляются инновации в области «большой» геодезии – это возможно благодаря инициативным людям и поддержке ряда руководителей, даже на уровне губернаторов. Да, эти регионы опережают другие по ряду направлений, но для устойчивого геодезического информационного обеспечения государства, территорий и современного общества требуется грамотный системный подход на уровне государства [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А.П. Сущность и система базовых понятий геоинформационного обеспечения территорий // Материалы VII науч. конф. по темат. картографии, Иркутск, 20-22 нояб. «Картограф. и геоинформ. обеспечение упр. региональным развитием». – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. – С. 103–106.
2. Рожков В.Ф. Проблемы геоинформационного обеспечения крупного города // Материалы междунар. конф. «Интеркарто-3». – Новосибирск, 1997. – С. 129–134.
3. Карпик А.П. Роль геоинформационного обеспечения территорий // Геодезия и картография. – 2004. – № 12. – С. 35–36.
4. Карпик А.П., Осипов А.Г., Мурзинцев П.П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 280 с.

© А.П. Карпик, 2012

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ GOCA – ОНЛАЙН-СИСТЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ОПОВЕЩЕНИЯ О ДЕФОРМАЦИЯХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННАЯ НА ТОЧНЫХ СПУТНИКОВЫХ (GNSS) И НАЗЕМНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ (LPS/LS)

Райнер Ягер

Университет прикладных наук Карлсруэ (HSKA), факультет геоматики Института прикладных исследований (IAF), Moltkestrasse 30, D-76133 Карлсруэ, Германия, профессор по спутниковой и математической геодезии, уравниванию и разработке ПО, тел: ++ 49 (0) 721 925 2620, мобильный: ++ 49 (0) 152 533 103 28, e-mail: reiner.jaeger@goca.info

Петер Шпон

Университет прикладных наук Карлсруэ (HSKA), факультет геоматики Института прикладных исследований (IAF), Moltkestrasse 30, D-76133 Карлсруэ, Германия, научный сотрудник и разработчик ПО в НИОКР GOCA/MONIKA, e-mail: peter.spohn@hs-karlsruhe.de

Тимур Шайхутдинов

Университет прикладных наук Карлсруэ (HSKA), Moltkestrasse 30, D-76133 Карлсруэ, Германия, аспирант (MSc), e-mail: timsh8801@gmail.com

Татьяна И. Горохова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10, Россия, научный сотрудник кафедры инженерной геодезии и информационных систем, e-mail: tatyana.gorokhova@gmail.com

Александр Ю. Янкуш

GNSS plus Ltd., 123458, Москва, ул. Твардовского, 1, зд. 8, Россия, технический директор, тел./факс: 8 495 780-92-74, сотовый: +7 916 694-28-35, e-mail: A.Yankush@GNSSplus.ru

Мультисенсорная система GOCA (GNSS/LPS/LS-based Online Control and Alarm System) используется для мониторинга и анализа деформаций объектов в режиме реального времени, на основе результатов геодезических измерений, полученных с использованием спутниковых навигационных систем GNSS/GPS, электронных тахеометров (LPS), обычных и гидростатических нивелиров, и локальных сенсоров (LS). GOCA была разработана для мониторинга стихийных бедствий, технических сооружений (например, плотин) и зданий. Система GOCA обрабатывает данные сенсоров в 3 этапа, выполняет уравнивание и анализ деформаций в реальном времени. Система вычисляет положение, скорость и ускорение для каждой точки объекта в единой трехмерной системе координат. В настоящей статье описываются используемые в системе математические модели геодезического мониторинга, основанные на классических методах уравнивания геодезических сетей, а также соответствующие принципы оценки и алгоритмы. Важнейшими этапами анализа деформаций являются, во-первых, трехмерная оценка смещений в реальном времени, во-вторых, фильтрация Калмана, которая предоставляет вектор состояния точек объекта, а также включает в себя прогнозирование и настройки оповещения об опасных смещениях. Интерфейсы входных и выходных данных системы GOCA имеют открытый формат и предназначены для всех видов результатов измерений и мониторинга. Все выходные данные GOCA могут в дальнейшем использоваться в комплексных системах анализа деформаций, таких, например, как модель конечных элементов FEM.

Ключевые слова: геодезический мониторинг в режиме реального времени, уравнивание сети, анализ деформаций, фильтрация Калмана, оценка смещений, настройки оповещения об опасных смещениях, сообщение, передача данных, раннее предупреждение, робастная оценка, GNSS, электронные тахеометры, нивелирование, последовательность геодезического мониторинга, моделирование виртуальных сенсорных данных, проектирование сетей для геодезического мониторинга, полный анализ, модель конечных элементов.

GNSS/LPS/LS BASED ONLINE CONTROL AND ALARM SYSTEM (GOCA) - MATHEMATICAL MODELS AND TECHNICAL REALIZATION OF A SCALABLE SYSTEM FOR NATURAL AND GEOTECHNICAL DEFORMATION MONITORING AND ANALYSIS

Reiner Jäger

Karlsruhe University of Applied Sciences, Moltkestrasse 30, D-76133 Karlsruhe, Professor for Satellite and Mathematical Geodesy, Adjustment, Softwaredevelopment and Surveying, Faculty of Geomatics and Institute of Applied Research (IAF), tel : ++ 49 (0) 721 925 2620, mobile: ++ 49 (0) 152 533 103 28, e-mail: reiner.jaeger@goca.info

Peter Spohn

Karlsruhe University of Applied Sciences, Moltkestrasse 30, D-76133 Karlsruhe, Scientific Assistant and Software Developer in the RaD project GOCA/MONIKA, Institute of Applied Research (IAF). e-mail: peter.spohn@hs-karlsruhe.de

Timur Shaykhutdinov

Karlsruhe University of Applied Sciences, Moltkestrasse 30, D-76133 Karlsruhe, Student in the HSKA International Study Programme Geomatics (MSc), e-mail: timsh8801@gmail.com

Tatyana Gorokhova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), 10, Plakhotnogo Str., Novosibirsk, 630108, Scientific Assistant, Department of Engineering Survey and Information Systems, e-mail: tatyana.gorokhova@gmail.com

Alexander Yankush

GNSS plus Ltd.. 8 Bld. 1, Tvardovskogo Str., 123458, Russia, Moscow, General manager and technical director, tel./fax: +7 495 780-92-74, mobile: +7 916 694-28-35, e-mail: A.Yankush@GNSSplus.ru

The real-time multi-sensor system GOCA (GNSS/LPS/LS based Online Control and Alarm System) applies GNSS/GPS, terrestrial sensors (LPS) e.g. total stations, leveling and hydrostatic leveling instruments and local sensors (LS) for a deformation monitoring and analysis. GOCA is designed for monitoring of natural hazards, geotechnical structures, constructions and buildings, and for dams. The GOCA-software is responsible for the further processing of the sensor data in a three steps sequential real-time adjustment and deformation analysis procedure, where GOCA provides displacements, velocities and accelerations in a unique three-dimensional coordinate-system. The respective mathematical models of a geodetic monitoring, which are based on the classical standard of a geodetic network adjustment, as well as the respective estimation principles and algorithms, are presented. A first focus concerning the deformation analysis is set on the 3D online displacement estimation. A second focus is due to the Kalman-Filtering, which provides additionally also the object-point state vector of the velocities and accelerations, and includes a respective forecasting, and an alarm-setting. The input data interface of the GOCA-system is open

for all kind of monitoring data, and the output data interface is again open for all above state vectors computed by the GOCA-software. So all GOCA output data is useable as input for integrated system analysis approaches in structural monitoring, such as e.g. FEM analysis software. A GOCA example is presented with respect to a dam monitoring project. Finally the geomonitoring chain is pointed out. In the GOCA-system it is realized by the software packages GNSSControl/TPSSControl, GOCA deformation-analysis software, GOCAEarth and GOCA-Alarm, and for planning of geomonitoring arrays by the software VirtualGOCA.

Key words: Online geomonitoring, network adjustment, deformation analysis, Kalman filtering, displacement-estimation, alarm-management, reporting, data-communication, early warning, robust estimation, GNSS, total stations, levelling, geomonitoring chain, virtual sensor-data simulation, planning of geomonitoring networks, integrated analysis, FEM.

Введение

Аппаратное обеспечение системы GOCA может включать в себя GNSS/GPS-приемники, электронные тахеометры и нивелиры, на основе их данных вычисляется вектор смещений $y(t)$, скорости и ускорения точек объекта (см.рис.1, [5]-[8], [10]-14], www.goca.info). Для комплексного анализа деформаций [5] также могут использоваться локальные сенсоры (LS), как например, датчики натяжения и механического напряжения. В настоящее время система GOCA используется для мониторинга более 30 крупных инженерных сооружений по всему миру [4]. Данные GNSS и LPS-наблюдений используются для создания классических геодезических сетей наблюдения за деформациями ([6], [10]), уравнивание которых происходит постоянно, в режиме online. Классическая геодезическая сеть для выявления деформаций состоит из стабильной области x_R и подвижных точек объекта $x_0(t)$ (рис. 1). Вычисления позиций x_R и $x_0(t)$ проводятся последовательно на 1-м и 2-м этапах анализа деформаций в системе GOCA. Уравненные на 2-м этапе временные ряды координат точек объекта $x_0(t)$ (сохраняются в формате *.FIN, см. рис. 2) и соответствующая ковариационная матрица $C_x(t)$ используются в дальнейшем для оценки векторов смещения в трехмерной системе координат $u_0(t)$, скорости $\dot{u}_0(t)$ и ускорения $\ddot{u}_0(t)$ точек объекта. 3-й этап – этап анализа деформаций в GOCA – проходит параллельно 2-му. Деформационный анализ включает такие компоненты, как: параметрическая модели оценки по скользящему среднему (MVE), классическая оценка смещений (SHT) и фильтрация Калмана (KAL, VHS) (рис. 2).

Данные $l(t)$ локальных сенсоров (LS) могут обрабатываться на 3-ем этапе анализа, применяя указанные выше методы оценки MVE, SHT и KAL непосредственно к вектору смещений $y(t)$, который моделирует исходные данные как непосредственные наблюдения. В качестве альтернативы при системном анализе может быть применен так называемый подход комплексного анализа деформации ([4], [8], [9]). Системный анализ или "комплексная модель" может применяться для геодезического мониторинга и обработки его результатов – а именно, $u_0(t)$, $\dot{u}_0(t)$ и $\ddot{u}_0(t)$, данных $l(t)$ локальных геометрических (например, инклинометры) и технических сенсоров (например,

датчики давления) (LS), а также позволяет оценить дополнительные физические параметры объекта. Схема потоков данных в системе GOCA и их интерфейсы показаны на рис. 2. Компоненты управления аппаратным обеспечением и коммуникационное программное обеспечение предназначены для управления сенсорами и передачи данных в массив сенсоров системы GOCA. Данные наблюдений GNSS/LPS/LS-сенсоров с отметкой времени предоставляются в открытом формате *.GKA [4]. Данные в *.GKA сгруппированы по типам сообщений различных сенсоров. Структура GKA-файла адаптирована к выходным данным GNSS (базовые линии и сессии), стандарту LPS-наблюдений (зенитное расстояние, горизонтальное проложение, угол наклона, превышение) и выходным данным различных локальных сенсоров (LS).

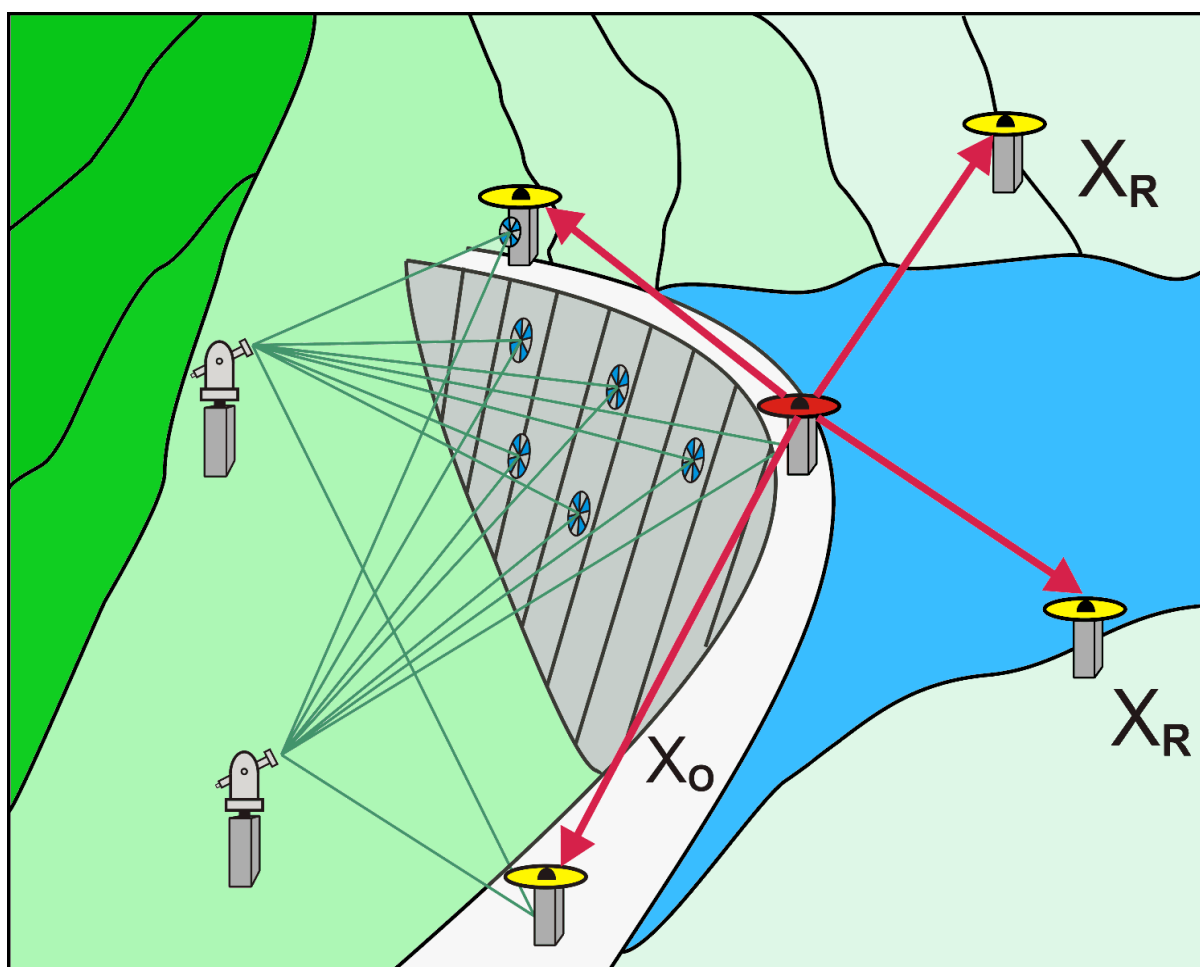


Рис. 1. Классическое представление деформационной сети. Опорные точки x_R с подвижными объектными точками $x_O(t)$

При обработке данных в режиме времени, близком к реальному, RINEX-файлы GNSS-измерений могут передаваться в программу GOCA, для дальнейшей обработки, с помощью соответствующего программного обеспечения, управляющего сенсорами (рис. 2). Результаты обработки RINEX-файлов конвертируются в формат GKA. Основной задачей и конечной целью анализа деформаций на 3-м этапе обработки в программе GOCA является

настройка оповещения в случае обнаружения критических значений существенных параметров $\mathbf{u}_O(t)$, $\dot{\mathbf{u}}_O(t)$, $\ddot{\mathbf{u}}_O(t)$, вычисленных во время MVE, SHT и KAL-оценивания. Соответствующие предупреждающие сообщения сохраняются в файлах формата *.ALR. Программа аварийного оповещения GOCA обрабатывает их совместно с информацией о сбоях сенсоров (тоже в формате *.ALR), создает и посылает предупреждения (например, SMA). Заархивированные файлы форматов *.FIN, *.MVE, *.SHT, *.KAL, *.VHS являются также открытым интерфейсом выходных данных для всех видов дальнейшей обработки, таких как последовательная визуализация и анализ, оповещение, GIS и веб-анализ, представление (к примеру, в Google-Earth), вычисления для виртуальных сенсоров и системный анализ деформаций.

Поточная диаграмма GOCA



Рис. 2. Схема потоков данных и этапов анализа деформаций в ПО GOCA

КОНЦЕПЦИЯ АНАЛИЗА ДЕФОРМАЦИЙ В ПО GOCA.

Принципы оценки в системе онлайн – мониторинга

Оценка различных параметров $\hat{\mathbf{y}}$ (исходные координаты и координаты точек объекта, смещение и т.п.), как функций результатов измерений сенсоров $\mathbf{l}=\mathbf{l}(\mathbf{y})$ и их ковариационной матрицы $\mathbf{C}_l$, осуществляется в программе GOCA в три этапа (рис. 2). Оценка параметров основана на общей концепции М-оценки

[6] в модели Гаусса-Маркова [3]. Основой модели Гаусса-Маркова являются два компонента – функциональная и стохастическая модели. Рассмотрим:

$$\tilde{\mathbf{I}} = \mathbf{I} - \boldsymbol{\varepsilon} = \mathbf{I}(\tilde{\mathbf{y}}) \quad \text{и} \quad \mathbf{C}_1 \quad (1a,b)$$

Знак “ $\sim$ ”, соответственно, обозначает так называемое ожидаемое или “истинное” значение результатов измерений и параметров. В этом смысле, полученные результаты наблюдений $\mathbf{I}$ должны быть исправлены с учетом ошибок измерений $\boldsymbol{\varepsilon}$ (1a). Первый этап М-оценки параметров $\mathbf{y}$ с помощью данных сенсоров $\mathbf{I}$ требует линеаризации функциональной модели (1a). Линеаризация основана на приближительных значениях параметров $\mathbf{y}_0$. Что касается ошибок наблюдений, из погрешностей $\mathbf{v}$ формируется вектор невязок, и мы получаем линеаризованную модель Гаусса-Маркова [3]. Рассмотрим

$$\mathbf{I} + \mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot d\hat{\mathbf{y}} + \mathbf{I}(\mathbf{y}_0) \quad \text{где} \quad \mathbf{A}(i, j) = \left. \frac{\partial \mathbf{I}_i}{\partial \mathbf{y}_j} \right|_{\mathbf{y}_0} \quad \text{и} \quad \mathbf{C}_1 \quad (1c)$$

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{y}_0 + d\hat{\mathbf{y}} \quad (1d)$$

где $\hat{\mathbf{y}}$ – оцениваемые параметры.

За линеаризацией следует гомогенизация модели (приведение к однородности) [3]:

$$\bar{\mathbf{A}} = \mathbf{C}_1^{-\frac{1}{2}} \cdot \mathbf{A}, \bar{\mathbf{I}} = \mathbf{C}_1^{-\frac{1}{2}} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{I}(\mathbf{y}_0)) \quad \text{и} \quad \bar{\mathbf{v}} = \mathbf{C}_1^{-\frac{1}{2}} \cdot \mathbf{v} \quad (1e)$$

М-оценка определяется с помощью минимизации так называемой функции оценки $\rho(\bar{\mathbf{v}})$, усредненной ошибками результатов наблюдений $\bar{\mathbf{v}}$ (1e), с учетом линеаризованной части параметра $d\hat{\mathbf{y}}$. Рассмотрим М-оценку [3]:

$$\sum_{k=1}^n \rho(\bar{\mathbf{v}}_k) = \text{Min} \quad |d\hat{\mathbf{y}}| \quad (1f)$$

$$\sum_{k=1}^n \rho((\mathbf{C}_1^{-\frac{1}{2}} \cdot \mathbf{A})_k \cdot d\hat{\mathbf{y}} - (\mathbf{C}_1^{-\frac{1}{2}} \cdot (\mathbf{I} - \mathbf{I}(\mathbf{y}_0)))_k) \quad (1g)$$

Усредненные погрешности $\bar{\mathbf{v}}$ следует рассматривать как негативную оценку вышеупомянутой истинной усредненной ошибки результатов наблюдения $\bar{\boldsymbol{\varepsilon}} = \mathbf{C}_1^{-1/2} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}$. В зависимости от типа функции М-оценки $\rho(\bar{\mathbf{v}}_k)$ [3], параметры $\hat{\mathbf{y}}$ (1d) оцениваются по методу наименьших квадратов, где $\rho(\bar{\mathbf{v}}_i) = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{v}}_i^2$, робастной оценкой L1, где $\rho(\bar{\mathbf{v}}_i) = \frac{1}{2} |\bar{\mathbf{v}}_i|$ и менее надежной

оценкой Губера, где $\rho(\bar{\mathbf{v}}_i) = \begin{cases} \frac{1}{2} \bar{\mathbf{v}}_i^2 & \forall |\bar{\mathbf{v}}_i| \leq k \\ |\bar{\mathbf{v}}_i| & \forall |\bar{\mathbf{v}}_i| > k \end{cases}$. Пример соответствующих

настроек для оценки смещения показан на рис. 4, справа. Устойчивость результатов измерений сенсора относительно суммарной погрешности $\nabla \mathbf{I}$ задана - она подразумевает автоматическое сокращение влияния $\nabla \mathbf{I}$ на результаты параметров $\hat{\mathbf{y}}$ (1d) - если первая производная $\psi(\bar{\mathbf{v}}) = d\rho(\bar{\mathbf{v}}) / d\bar{\mathbf{v}}$ ограничена, а именно, если

$$|\psi(\bar{v})| = \left| \frac{d\rho(\bar{v})}{d\bar{v}} \right| < b \quad (1g)$$

Числовое решение М-оценки (1f) по модели Гаусса-Маркова (1c, d) может привести назад к итерационной оценке методом наименьших квадратов [3] с помощью усредненной модели Гаусса-Маркова (1e), где диагональная матрица

$$\mathbf{W}(\bar{v}_i) = \text{diag} \left[\frac{\partial \psi(\bar{v}_i)}{\bar{v}_i} \right] \quad (1h)$$

используется как весовая матрица в методе последовательных приближений [3].

При применении к измерениям l в геодезической сети для выявления деформации, (рис. 1) М-оценка (1a-h) обеспечивает однозначную оценку параметров $\hat{y} = \hat{y}(l)$ в любое время t при избыточном и при достаточном количестве измерений.

М-оценка также предоставляет ковариационную матрицу $C_{\hat{y}}$ оценки параметров. Таким образом, вычисленные смещения имеют полную статистическую основу с учетом статистического анализа и оценки предполагаемых параметров $y(t)$, например, в контексте настройки оповещения (рис. 4), или обнаружения нестабильных базовых точек [5] и т.д. Поскольку, около 0,3% результатов наблюдений в сенсорной системе связаны с грубыми ошибками, наличие надежной М-оценки параметров (1f) с помощью функции ограничения влияния $\psi(\bar{v})$, параллельно с обычным методом наименьших квадратов, существенно увеличивает надежность системы онлайн геомониторинга на всех этапах оценки. Кроме того, надежная М-оценка параметров позволяет избежать ложного оповещения о грубых ошибках. В целом, она является неременным условием полного автоматического геомониторинга.

ЭТАПЫ РАБОТЫ ПО GOSA

1-й и 2-й этапы работы ПО GOSA

Концепция анализа деформаций, реализованная в программных моделях GOSA, это так называемый классический геодезический анализ деформаций [4], который был полностью переведен в автоматический онлайн-режим [1]. Концепция геодезического анализа деформаций, основанная на уравнивании геодезической сети, в виде М-оценки (1f), начала развиваться в семидесятые годы [10]. В настоящее время концепция (1f) также является основой для современной онлайн системы геомониторинга, т.к. удовлетворяет требованиям к единообразию параметров во времени и пространстве, оптимальной точности при нормальном распределении ошибок наблюдений и оценке методом наименьших квадратов, обеспечивает надежность с помощью ограничения влияния оценки параметров y , и предоставляет ковариационную матрицу для статистического анализа измерений. Линеаризованная модель Гаусса-Маркова для разных эпох наблюдений t_i и t_j на 1-м и 2-м этапах работы GOSA представлена следующей системой уравнений (рис. 1.):

$$l(t_i) + v_i = A_{Ri} \cdot x_{Ri} + A_{Oi} \cdot x_O(t_i) \quad \text{и} \quad C_{li} \quad (2a)$$

$$\mathbf{l}(t_j) + \mathbf{v}_j = \mathbf{A}_{Rj} \cdot \mathbf{x}_{Rj} + \mathbf{A}_{Oj} \cdot \mathbf{x}_O(t_j) \text{ и } \mathbf{C}_{lj}. \quad (2b)$$

Символом $\mathbf{A}$ здесь обозначена матрица плана линеаризованной модели Гаусса-Маркова (1c,d), с данными наблюдений GNSS и LPS, и со стохастической моделью входных данных $\mathbf{l}$. Основные параметры $\mathbf{y}$ в (2a,b), представляющие форму спроектированной сети для выявления деформаций (рис. 1), являются координатами базовых точек $\mathbf{x}_R$ и координатами точек объекта $\mathbf{x}_O$. Дополнительные параметры соответствуют различным типам результатов измерений $\mathbf{l}$, без нарушения общности (см. формулы (3a)-(3e)). Постоянство и стабильность области исходных пунктов (рис. 1) достигается за счет задания одинаковых координат $\mathbf{x}_{Ri} = \mathbf{x}_{Rj} = \mathbf{x}_R$ для всех эпох измерений, в то время, как координаты точек объекта $\mathbf{x}_{Oi}$ и $\mathbf{x}_{Oj}$ вычисляются для каждой эпохи t_i и t_j [6]. Устойчивость опорных точек $\mathbf{x}_R$ должна быть проверена с помощью, так называемой расширенной модели Гаусса-Маркова, связанной с (2a,b) и строгой статистической концепцией [1].

Продолжительность эпох t_i и t_j по времени равна временному интервалу с продолжительностью Δt . Установленные интервалы должны быть равны интервалу взятия отсчетов сенсорами Δt , или превышать его. Отметка времени эпохи t_i и t_j соответствует серединам последующих интервалов Δt . GNSS- и LPS-наблюдения $\mathbf{l}$ (2a, b), взяты из GNSS и LPS с целью разделения уравнивания сети в плане и по высоте. Таким образом, модель (2a,b) может легко быть использована в особых случаях, например, когда выполняется только вертикальный геодезический мониторинг с использованием гидростатических нивелиров. Большинство результатов измерений, которые использованы в (2a, б), являются двумерными или одномерными GNSS-измерениями базовых линий. К данным наблюдений LPS, которые использованы в (2a, б), относятся горизонтальное проложение s_{ij} , угол наклона r_{ij} и превышение ΔH_{ij} . После введения дополнительных параметров, уравнение наблюдений, используемое в концепции геодезического мониторинга ПО GOCA, будет иметь вид ([4], [8]):

$$\begin{bmatrix} \Delta x_{ij} \\ \Delta y_{ij} \end{bmatrix}_{\text{GNSS}} + \begin{bmatrix} v_{\Delta x,ij} \\ v_{\Delta y,ij} \end{bmatrix}_{\text{GNSS}} = \begin{bmatrix} \Delta \hat{x}_{ij} \\ \Delta \hat{y}_{ij} \end{bmatrix}, \quad (3a)$$

$$s_{ij} + v_{s,ij} = s \cdot \sqrt{\Delta \hat{x}_{ij}^2 + \Delta \hat{y}_{ij}^2}, \quad (3b)$$

$$r_{ij} + v_{r,ij} = \arctan\left(\frac{\Delta y_{ij}}{\Delta x_{ij}}\right) - o_i, \quad (3c)$$

$$\Delta h_{\text{GNSS},ij} + v_{\Delta h,ij} = \Delta \hat{h}_{ij} \quad \text{и} \quad (3d)$$

$$\Delta H_{\text{terr},ij} + v_{\Delta H,ij} = s_h \cdot \Delta \hat{h}_{ij} - \Delta \mathbf{v}_m^T \cdot \hat{\mathbf{g}}_m \quad (3e)$$

Помимо неизвестных координат $(\hat{x}, \hat{y} | \hat{h})$, которые должны быть разделены на опорные точки $\mathbf{x}_R$ и точки объекта $\mathbf{x}_O$ согласно структуре сети (рис. 1),

дополнительными параметрами в $y(t)$ являются масштабные коэффициенты s и s_h в плане и по высоте, неизвестный угол ориентирования линии o_i , и полиномиальные параметры

$$\hat{g}_m^T = (\hat{a}_{00} | \hat{a}_{10}, \hat{a}_{01} | a_{20}, \dots)_m^T \quad (3f)$$

в области m . Совокупность параметров $\hat{g}^m$ формирует высотную модель поверхности относимости (геоид) в m -й локальной области объекта (см. www.dfhbf.de). Соответствующая строка матрицы плана для результата измерения $\Delta H_{\text{terr},ij}$ содержит разности так называемых векторов Вандермонда:

$$\Delta \mathbf{v}_{m,ij}^T = [(1 | x_j^1, y_j^1 | x_j^2, x_j^1 y_j^1, y_j^2 | \dots)_m - (1 | x_i^1, y_i^1 | x_i^2, x_i^1 y_i^1, y_i^2 | \dots)_m] \quad (3g)$$

сформированных из локальных координат точек в области m . Учитывая масштабируемость концепции геомониторинга в GOCA и возможность ее применения для поверхности любого размера, можно ввести любое количество m . Таким образом, можно осуществлять мониторинг нескольких объектов с разными настройками параметров в единой расширенной системе координат $\mathbf{x}_R$ (3f). В ПО GOCA деформационная сеть может быть поделена на различные области (рис. 1) [4].

Инициализация, а именно 1-й этап, базируется на свободном уравнивании участка сети для геомониторинга методом наименьших квадратов (L2-норма) с помощью GNSS- и LPS-данных, используемых в модели Гаусса-Маркова, как показано в (2a,b). Выполнение 1-го этапа также связано с уравнениями результатов измерений (3a-e) и обеспечивает создание области опорных точек $\mathbf{x}_R$ геодезической сети мониторинга (рис.1). Параметры y этапа инициализации зависят от используемых типов сенсоров. Настройка инициализации (1f) данных сенсоров $\mathbf{l}$ выполняется для начальной эпохи, заданной пользователем, и интервала инициализации. Для этого используется оценка по методу наименьших квадратов, где $\rho(\bar{v}_i) = \frac{1}{2} \bar{v}_i^2$, и производится обеспечение робастности с учетом грубых ошибок $\Delta \mathbf{l}$ автоматической итерационной процедурой слежения за данными (data snooping) [3].

2-й этап анализа деформаций в GOCA связан с разделением сети (2a, b), уравнениями результатов измерений (3a-e), и их оценкой по формуле (1f). 2-й этап обеспечивает постоянную трехмерную координатную привязку точек объекта $\mathbf{x}_O(t)$ в пространстве опорных точек $\mathbf{x}_R$ (рис. 1). Выполнение 2-го этапа: оценка позиций точек объекта $\mathbf{x}_O(t)$, создание их ковариационной матрицы $\mathbf{C}_O(t)$, сохранение результатов

$$\mathbf{x}_O(t) \text{ и } \mathbf{C}_O(t) \quad (4a,b)$$

в ежедневных FIN-файлах (рис. 2), происходит в режиме онлайн.

Визуализация временных рядов координат x (зеленый), y (синий) и h (красный) точек объекта $\mathbf{x}_O(t)$, показана на рис.3. Координаты исходных пунктов $\mathbf{x}_R$, вышеупомянутые дополнительные параметры и специфические параметры наблюдений s , s_h и $\hat{g}^m$ (кроме неизвестного угла ориентирования o_i)

сохраняются на 2 этапе как фиксированные, в соответствии с результатами 1-го этапа. Таким образом, устраняется любое влияние ошибок результатов измерений на сеть геомониторинга x_R , и уменьшается риск ошибочного аварийного оповещения. Ковариационная матрица фиксированного набора параметров в пределах y тем не менее строго учитывается при вычислении $C_O(t)$ (4b) и, как упоминалось выше, стабильность области опорных точек x_R можно контролировать статистически.

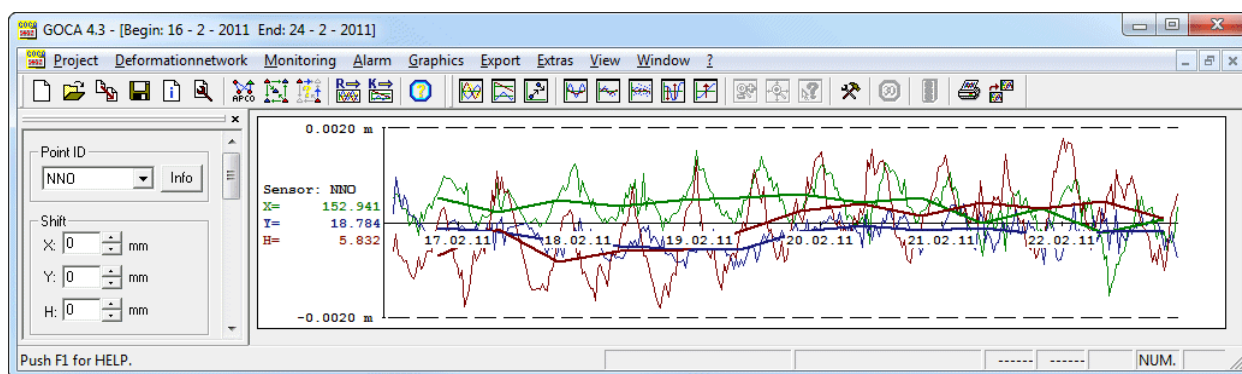


Рис. 3. Временные ряды координат $x_O(t_i)$ как результат 2-го этапа. Толстыми линиями показано сглаживание с помощью оценки скользящего среднего значения (MVE) (3-й этап)

3-й этап работы GOCA – анализ деформаций

На 3-м этапе работы GOCA, а именно на этапе анализа деформаций, проводится оценка параметров $y(t)$ различных функций обнаружения деформаций, так же на основе формулы (1f). Оценка параметров производится в онлайн режиме, параллельно 2-му этапу. Ввод результатов измерений ($I(t), C_1(t)$) основан на временных рядах координат точек объекта $x_O(t)$ и $C_O(t)$ (4a,b), сохраненных в виде FIN-файлов в проекте GOCA (рис. 2).

Оценка скользящего среднего значения

Первой, и простейшей, функцией $y(t)$ измерения взаимосвязанного смещения точек объекта, предоставленной в ПО GOCA, является оценка скользящего среднего значения (MVE), где $x_O(t)$ и $C_O(t)$ являются прямыми измерениями с учетом позиции MVE $y(t)^T = (x(t), y(t), h(t))$ для каждого измеренного интервала. Толстые линии на рис. 3 обозначают сглаженные значения трех компонентов оценки MVE $y(t)$. MVE-оценка в GOCA включает настройки оповещения (рис. 2) при критических, по сравнению с текущими, смещениях $u(t) = y(t) - x_O(t_0)$, полученных относительно исходных позиций точек объекта $x_O(t_0)$. Данные локальных сенсоров $I(t)$ (например, датчиков натяжения и механического напряжения, инклинометров) и их ковариационная матрица $C_1(t)$, также могут использоваться для оценки скользящего среднего значения (MVE).

Онлайн-оценка смещения

Второй функцией оценки деформации и вектором параметров анализа деформации 3-го этапа GOCA является онлайн-оценка смещения (SHT) (см. рис. 2) между разными “длительными эпохами” t_0 и t_i . Выражение “длительные эпохи” означает, что две эпохи t_0 и t_i начались в моменты времени t_0 и t_i , и продолжались в течение интервалов Δt_0 и Δt_i , например, 1 час (рис. 4). Началом первой эпохи t_0 может быть момент инициализации (1-й этап). Альтернативно t_0 может быть задана с помощью настроек в ПО GOCA (рис. 4), либо произвольно устанавливаемой или динамически перемещаемой временной маркой. Рассмотрим функциональную модель оценки смещения точек объекта:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l}_{t_0} \\ \mathbf{l}_{t_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{t_0} \\ \mathbf{v}_{t_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{E}_2 & \mathbf{E}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_0 \\ \hat{\mathbf{u}}(t) \end{bmatrix} = \mathbf{A} \cdot \hat{\mathbf{y}} \quad (5a)$$

$$\hat{\mathbf{y}} = [\hat{\mathbf{x}}_0(t_0), \hat{\mathbf{u}}(t_0, t_i)]^T. \quad (5b)$$

Две группы результатов измерений $\mathbf{l}_{t_0}$ и $\mathbf{l}_{t_i}$ и их ковариационная матрица взяты из данных временных рядов точек объекта $(\mathbf{x}_O(t), \mathbf{C}_O(t))$ (4a,b) (см. рис. 3, тонкие линии). Величина $\mathbf{v}$ обозначает погрешность измерений (1с). Параметрами деформации $\hat{\mathbf{y}}(t)$ для каждой точки объекта являются трехмерная уравненная позиция $\hat{\mathbf{x}}_0(t_0) = [\hat{x}, \hat{y} | \hat{h}]^T$ на эпоху t_0 и 3D-смещения $\hat{\mathbf{u}}(t_0, t_i) = [u_x, u_y | u_h]_{t_0, t_i}^T$ между t_0 и t_i . Матрицы плана $\mathbf{E}_1$ и $\mathbf{E}_2$ – это столбцовые матрицы, элементами которых являются матрицы размерностью 3×3 для каждого трехмерного результата измерения $\mathbf{x}_O(t)$ в соответствующих интервалах эпох Δt_0 и Δt_i . Рис. 4 показывает настройки ПО GOCA для онлайн оценки смещения, в соответствии с (5a,b). Настройки могут быть различными, в зависимости от выбора точек объекта, определения эпохи для оценки смещения, настроек уравнивания и статистической проверки, а также настроек автоматического оповещения (ALR-файлы, рис. 2).

Автоматическая оценка смещения между различными “длительными эпохами” $\Delta t(t_i)$ (например, 3 часа) может быть произведена в одном из 3х режимов, а именно

- 1-я эпоха = статичная, задана во время инициализации (1-й этап работы GOCA). 2-я эпоха периодически повторяется (например, каждые 24 часа).
- 1-я эпоха = статичная, установлена пользователем. 2-я эпоха периодически повторяется.
- 1-я эпоха = периодически повторяется, как и 2-я эпоха.

Displacement-Estimation

General Settings

Name: Estimation-1_dyn

Object Points

☒ P2

☒ P3

Epoch Definition

☐ Epoch 1 = Initialisation

☐ Epoch 1 = fix

☒ Epoch 1 = dynamic

Begin of dynamic or fix Epoch 1:

Date: 03.02.2011 Time: 00:00:00

Begin dynamic Epoch 2:

Date: 26.01.2011 Time: 10:33:02

Duration of Epoch 1: 20 sec

Epoch-Cycle: 20 sec

Duration of Epoch 2: 40 sec

Adjustment Settings

Estimation Type: ☐ L1 ☐ L2 ☒ Huber

Convergence Crit. (L1, Huber): 1000

Statistical Settings

Error Probability Plan Pos.: 5 %

Error Probability Height: 5 %

Sensitivity β : 95 %

Settings for Alert

☒ Alert in case of Significance (A)

☒ Alert on exceeding crit. values (B)

Plan: 3 mm Priority: 8

Height: 3 mm Priority: 9

☒ Alert only if A and B simultaneously match

OK Cancel

Рис. 4. Настройки онлайн оценки смещения (SHT) и оповещения в системе GOCA

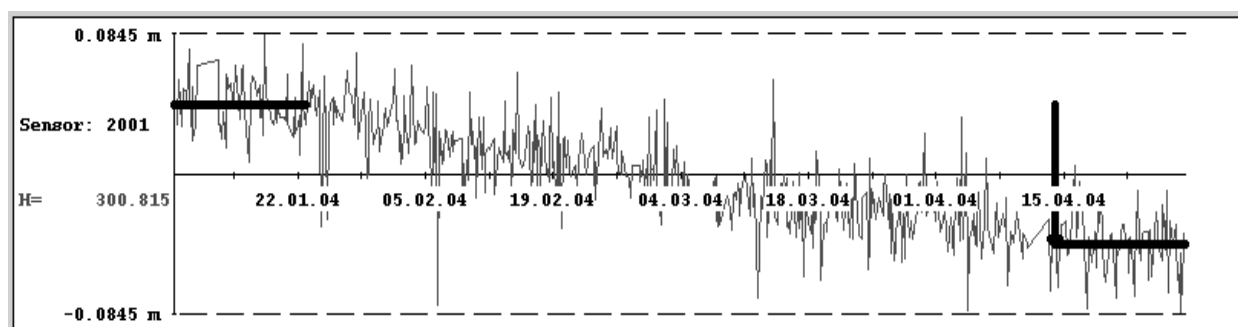


Рис. 5. Визуализация оценки смещения $\hat{\mathbf{y}} = [\hat{\mathbf{x}}_0(t_0), \hat{\mathbf{u}}(t_0, t_i)]^T$ на 3-м этапе работы по GOCA

На рис. 5 толстой горизонтальной линией слева показана оценка $\hat{\mathbf{x}}_0(t_0)$ (5a,b) по нескольким результатам измерений $\mathbf{x}_O(t_i)$ (4a), принадлежащих начальному моменту времени t_0 с интервалом оценивания $\Delta t(t_0)$. Толстая горизонтальная линия справа показывает оценённое положение $\hat{\mathbf{x}}(t_i) = \hat{\mathbf{x}}_0(t_0) + \hat{\mathbf{u}}(t_0, t_i)$ на момент времени t_i . Толстая стрелка показывает предполагаемое перемещение $\hat{\mathbf{u}}(t_0, t_i)$ в вертикальной составляющей. Опять

же, для оценки смещения (SHT) могут быть использованы данные локальных сенсоров (LS).

ФИЛЬТРАЦИЯ КАЛМАНА В ПО ГОСА. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И СВОЕВРЕМЕННОЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Фильтр Калмана – третий компонент оценки параметров деформации на третьем шаге работы системы ГОСА. Он относится к так называемому уравнению перехода $T(t)$ параметрического вектора смещения $y(t)$. Для перехода от смещения в предыдущий момент времени $(t - \Delta t)$ к смещению на текущий момент t , имеем

$$y(t) = T(t) \cdot y(t - \Delta t), \text{ где} \quad (6a)$$

$$\begin{bmatrix} u(t) \\ \dot{u}(t) \\ \ddot{u}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & [\Delta t] & \left[\frac{1}{2} \Delta t^2 \right] \\ 0 & I & [\Delta t] \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u(t - \Delta t) \\ \dot{u}(t - \Delta t) \\ \ddot{u}(t - \Delta t) \end{bmatrix} \text{ и} \quad (6b)$$

$$y(t) = [u(t), \dot{u}(t), \ddot{u}(t)]^T \quad (6c)$$

Вектор смещения $y(t)$ фильтра Калмана включает в себя трехмерное смещение $u(t)$, скорость $\dot{u}(t)$ и ускорение $\ddot{u}(t)$ каждой точки объекта $x_O(t)$ между двумя последовательными интервалами времени Δt .

Модель изменения состояния (6a, b, c) является рядом Тэйлора неизвестной функции смещений $u(t)$, у которого отброшены все члены после второго (постоянное ускорение в пределах интервала), и который широко используется в геодезическом мониторинге медленных движений точек объекта и движений со средней скоростью, например, оползней и т.п. [1]. Ковариационная матрица C_y прогноза $y(t)$ (6b, c) вычисляется согласно закону распределения ошибок ковариационной матрицы предыдущего вектора состояния $y(t - \Delta t)$ и, соответственно, предыдущих итераций фильтра Калмана. Результаты измерений $I(t)$ и их ковариационная матрица для фильтрации Калмана, которые связаны с тем же вектором изменения состояния (6c), являются вычисленными ГОСА смещениями $u(t)$ в интервале времени Δt . Уравнение наблюдения $I(t)$ в момент времени t записывается как

$$I(t) = I(y(t)) =: u(t) = x_O(t) - x_O(t_0), \quad (6d)$$

$$C_1 = C_{x_O}(t) + C_{x_O}(t_0). \quad (6e)$$

Результаты измерений $I(t)$ (6d) – разница между настоящим положением точки объекта $x_O(t)$ (4a), полученными на 2-м этапе ГОСА (FIN-файл) во временном интервале $[t, t - \Delta t]$, и исходными координатами $x_O(t_0)$, полученными в начале фильтрации Калмана. Сам фильтр Калмана эквивалентен общей оценке (1f) спрогнозированного вектора состояния $y(t)$ (6c) и вектора состояния, вычисленного из наблюдений $I(y(t))$ на момент времени t (6d). Общая М-оценка (1f) параметров $\hat{y}(t)$ для этих двух компонентов наблюдения

(6a) и (6d) и их стохастических моделей C_y и C_l может быть итерационно вычислена, как:

$$\hat{y}(t)^{(j)} = y(t) + K^{(j)} \cdot (\bar{l}(t) - \bar{l}(y(t))), \text{ где} \quad (6d)$$

$$K^{(j)} = (C_y^{-\frac{1}{2}} W_y^{(j)} C_y^{-\frac{1}{2}} + \bar{A} W_l^{(j)} \bar{A})^{-1} \cdot \bar{A} W_l^{(j)} \quad (6e)$$

Так называемая матрица Калмана $K^{(j)}$ вычисляется итерационно ($j=j$ -й шаг). На j -ом шаге итерации диагональные весовые матрицы $W_y^{(j)}$ и $W_l^{(j)}$ в рамках $K^{(j)}$ настраиваются согласно (1h). Так же, как онлайн оценка смещений SHT (5a, b), фильтрация Калмана в системе GOCA может осуществляться путем подстановки в (1f), либо с использованием метода наименьших квадратов или робастной оценки L1. Результаты $(\hat{y}(t), C_{\hat{y}}(t))$ сохраняются как файлы фильтра Калмана в формате KAL VHS, см. рис. 2. Результаты измерений локальных сенсоров $(l(t), C_l(t))$ могут быть использованы как входные данные фильтра Калмана. Уравнение (6b) позволяет предсказать время Δt , за которое будут достигнуты заданные критические значения вектора смещения $y(t)$ (6c). Это позволяет использовать GOCA как систему раннего оповещения.

Системный анализ: основные аспекты и научный вклад системы GOCA

В развитии методов анализа деформаций ясно прослеживается тенденция к объединению параметрических результатов геодезической оценки смещения (5a, b) и/или фильтрацию Калмана (6a, b, c), а именно $u(t)$, $\dot{u}(t)$ и $\ddot{u}(t)$, с геометрическими и физическими наблюдениями $l(t)$ локальных сенсоров (LS) в общую модель ([2], [5]). Учитывая тот факт, что оба типа функций измерения деформации наблюдают за состоянием физического объекта (например, дамбы), необходимость физической модели для их интеграции становится очевидной. Согласно общепринятой классификации моделей, т.е. «черный», «серый» или «белый ящик», модель конечных элементов (FEM) принадлежит к типу «белый ящик» и характеризуется физическими параметрами p , вектором изменения состояния и вектором выходных данных (рис.2) $u_o(t)$, $\dot{u}_o(t)$, $\ddot{u}_o(t)$ геодезического мониторинга ([1], [5], [6], [14]). Таким образом, FEM является ключом для разработки комплексной геодезической системы мониторинга, использующей данные GNSS, LPS и LS сенсоров. Комплексные статические FEM-модели, разработанные создателями GOCA, успешно применялись и совершенствовались [9]. Однако, динамическая FEM-модель, также созданная командой разработчиков GOCA [1], все еще ждет дальнейшей оценки в комплексном динамическом моделировании [2].

ПРИМЕР МОНИТОРИНГА ДАМБЫ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ GOCA

Наблюдение за дамбой Копс, находящейся высоко в Альпах на территории Австрии, с помощью системы GOCA на основании данных GNSS велось около

года (рис.7). Первый из трех одночастотных GPS приемников был установлен в качестве базовой станции в месте соединения дамбы со скалой, как точка объекта $x_O(t)$. Второй GPS-ровер установили в центре дамбы тоже в качестве точки объекта $x_O(t)$ (рис. 7 и 8).

Третий GPS-ровер установили как опорную точку x_R на устойчивом объекте, который находится в 500 м за пределами дамбы (рис. 9). Длины базовых линий, за которыми велись наблюдения, были равны, соответственно, 198 м и 500 м (рис. 8). Частота взятия отсчетов Δt GNSS/GPS-приемниками составляла 2 минуты.

На рис. 10 показано сравнение горизонтального смещения точки $x_O(t)$ в центре дамбы вдоль координатной оси, перпендикулярной дамбе, вычисленное по данным GPS (красная линия) и классическим способом – наблюдение за лотом в теле дамбы (зеленая линия) в течение 4 недель.

Синей линией показано изменение уровня воды. Смещения, вычисленные на основе данных GPS-приемников с помощью MVE-оценки GOCA, с точностью до миллиметра соответствуют показаниям смещения лота. Поскольку GPS-приемник находится приблизительно на 8 м выше лота (рис. 9, справа), их графики тоже расходятся.

На рис. 11 показаны результаты фильтрации Калмана ПО GOCA за тот же интервал времени, что на рис. 10, с учетом параметрического вектора $y(t)$, т.е. смещения $u(t)$, скорости $\dot{u}(t)$ и ускорения $\ddot{u}(t)$ пункта $x_O(t)$, находящегося в центре дамбы. Оранжевые точки показывают временные ряды результатов измерений точек объекта $u(t)$ (6d) в системе GOCA.



Рис. 7. Инсталляция системы GOCA: расположение пунктов объекта $x_O(t)$ на дамбе Копс, Австрия

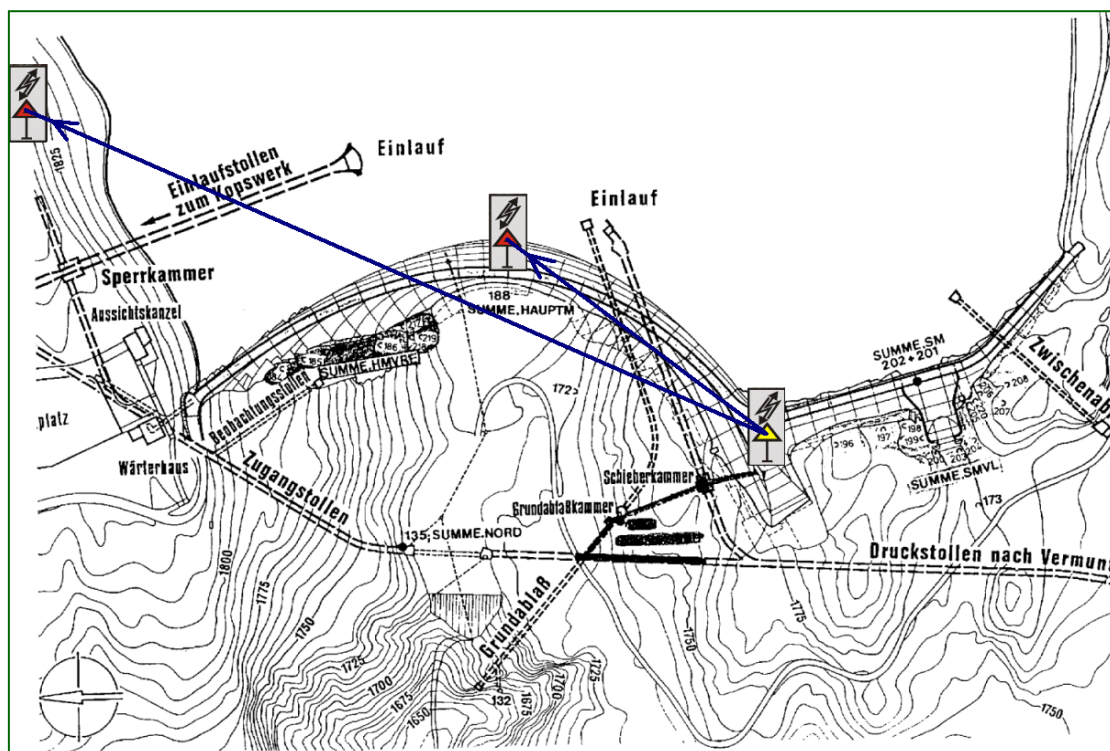


Рис. 8. Инсталляция системы GOCA: схема базовых линий. Стабильная точка x_R (слева), в режиме ровера. Точки объекта $x_O(t)$ в режиме ровера (центр), и GPS-базовой станции (справа)

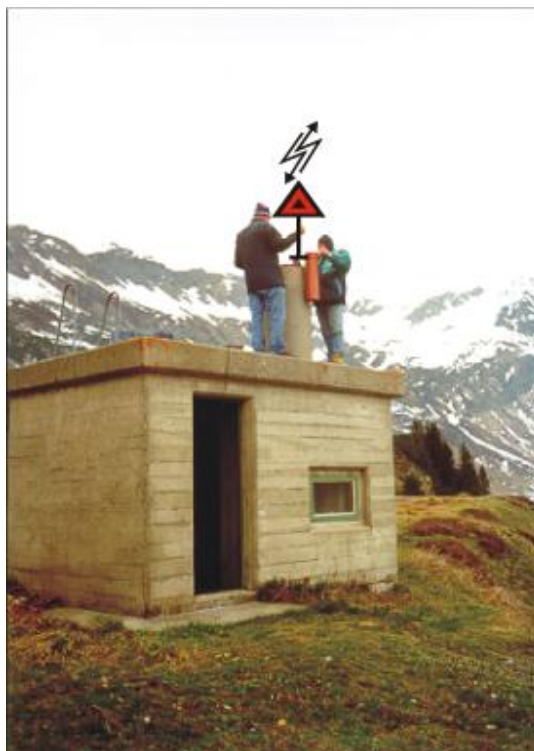


Рис. 9. Установка опорной точки x_R (слева) и точки объекта $x_O(t)$ в месте соединения дамбы со скалой (справа)

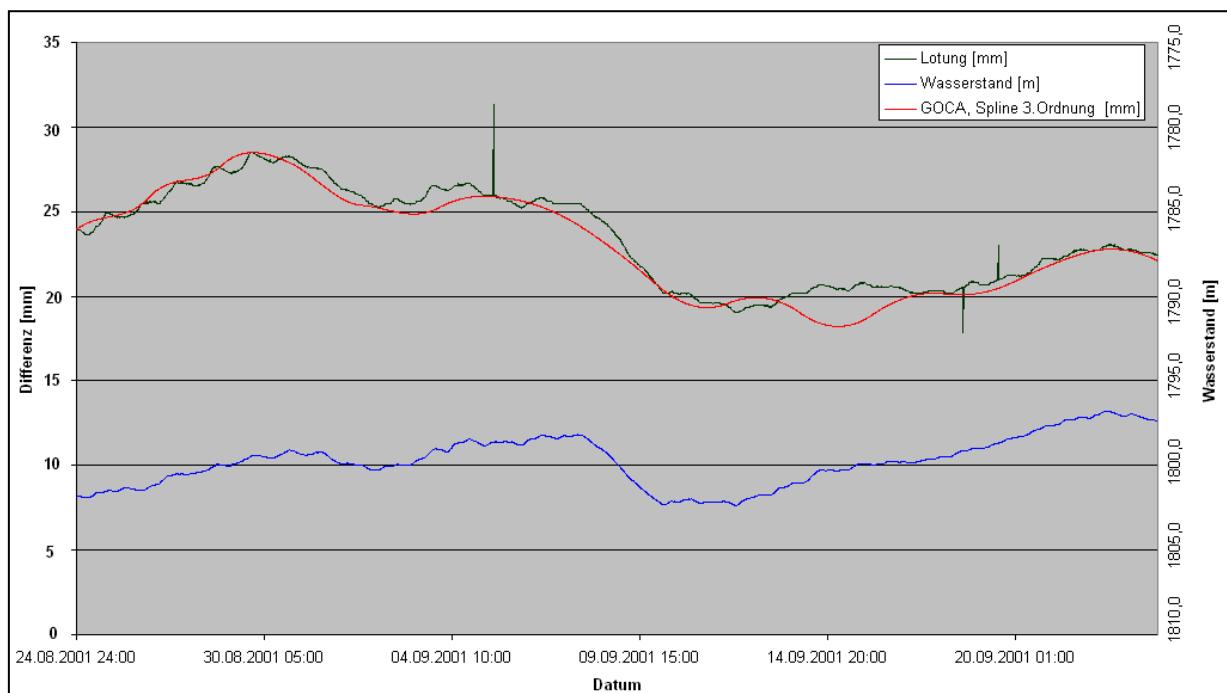


Рис. 10. Вычисление смещения (красная линия) объектного пункта в центре дамбы $x_O(t)$ с помощью GOCA

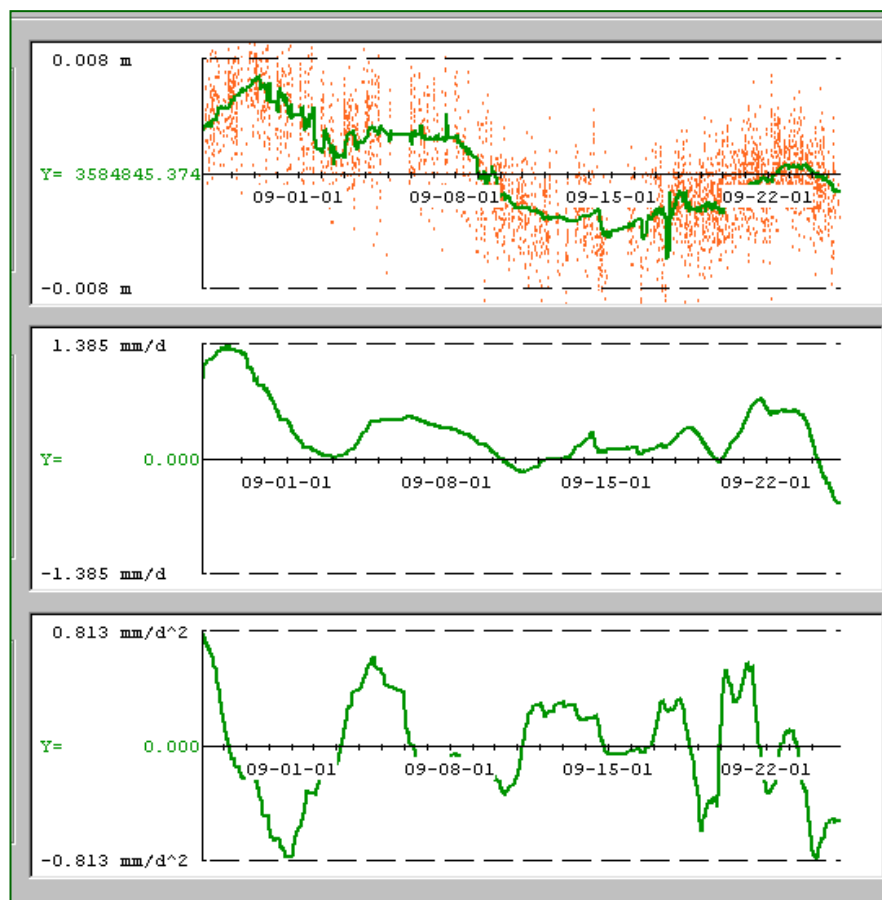


Рис. 11. Результаты оценки смещения $u(t)$, скорости $\dot{u}(t)$ и ускорения $\ddot{u}(t)$ пункта $x_O(t)$ в центре дамбы фильтром Калмана. Интервал времени тот же, что на рис. 10

Общее описание

Геомониторинг, включающий в себя сбор данных, моделирование (уравнивание сети, анализ деформаций), отчет и оповещение, который указан в цепочной последовательности (рис.12), является полностью автоматизированным методом, минимизирующий риски и текущие затраты.

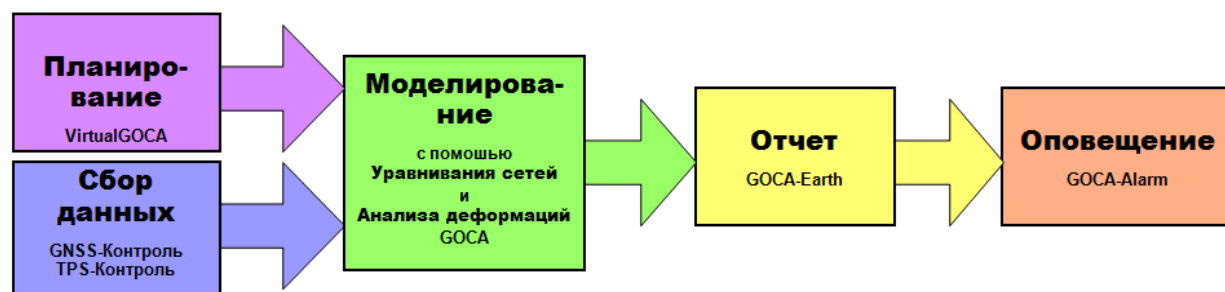


Рис 12. Цепочная последовательность геомониторинга

Сбор данных в геосенсорных сетях

GNSS-Контроль и TPS-Контроль

Функциями GNSS-Контроль и TPS-Контроль являются сбор данных и поддержание связи в GNSS между спутниками и TPS между тахеометрами. Передача данных на тахеометры осуществляется либо напрямую через протокол RS232 или через протоколы TCP/IP. Наличие гибкой коммуникации у TPS-Контроля позволяет передавать данные используя LAN/WLAN, GPRS, UMTS и т.д. через интернет в любые точки мира. Самостоятельно разработанное оборудование, называемое коробкой TPS-коммуникации, конвертирует данные TPS-Контроля (зенитное расстояние, горизонтальное проложение, угол наклона, превышение) в бинарные TCP/IP пакетные данные. GOCA-TPS-Контроль также осуществляет автоматическое измерение объектов на разных стадиях геодезических операций. В случае неполадки сенсоров GOCA-TPS-Контроль передаст сигнал об их неисправностях GOCA-Alarm.

Virtual GOCA

Свежие данные полученные от виртуальных геодезических сенсоров формируются на основе геопотенциальной модели EIGEN04C от GFZ или EGM 2008 и цифровой модели поверхности ETOPO1 от NGDC, и предоставляются пользователю в виде файлов формата GKA. Это базовые линии, горизонтальные проложения, углы наклона, зенитные расстояния и превышения вместе с соответствующими стохастическими моделями. Положения сенсоров задаются в Google Earth приближенные к реальным и через kml-интерфейс передаются в VirtualGOCA, где осуществляется конфигурация сети геомониторинга. Также существует возможность задать величину точности для отдельных типов сенсоров. Для оценки надежности какой-либо концепции геомониторинга или программного обеспечения, для уравнивании сети и деформационного анализа пользователь может задать генерацию грубых ошибок („Количество грубых измерительных ошибок в

час“). Наряду с режимами наблюдений реальное время и интервал времени VirtualGOCA предлагает выбор модели деформации, которая может симулироваться – например, оползень. Virtual GOCA служит для выполнению всех этапов геомониторинга. Вся мониторинговая цепь может быть апробирована и оптимизирована. VirtualGOCA может применяться для независимых производственных расчетов, а также для оценочных тестов и в рамках сертификации систем геомониторинга.

Моделирование Данных в ПО GOCA анализа деформаций

Моделирование данных выполняется с помощью ПО GOCA анализа деформаций в 3 этапа. Основан на геодезическом уравнивании сетей (этап 1,2) и на последующих операциях по оценке параметров деформации (этап 3), как было описано выше.

Отчет при помощи GOCA-Earth

Результаты анализа деформаций, выполненного в GOCA (Этап 2: fin-файлы, Этап 3: mve- и sht-файлы) должны визуализироваться в GoogleEarth как векторы смещений (в плане и по высоте). Поэтому, для правильного отображения положения, в GOCA встроена функция трансформации всех данных в форматы GoogleEarth и ее собственную координатную систему. Этим обеспечивается корректное отображение даже локальных сетей. Необходимые контрольные пункты передаются в GOCAEarth в формате kml.

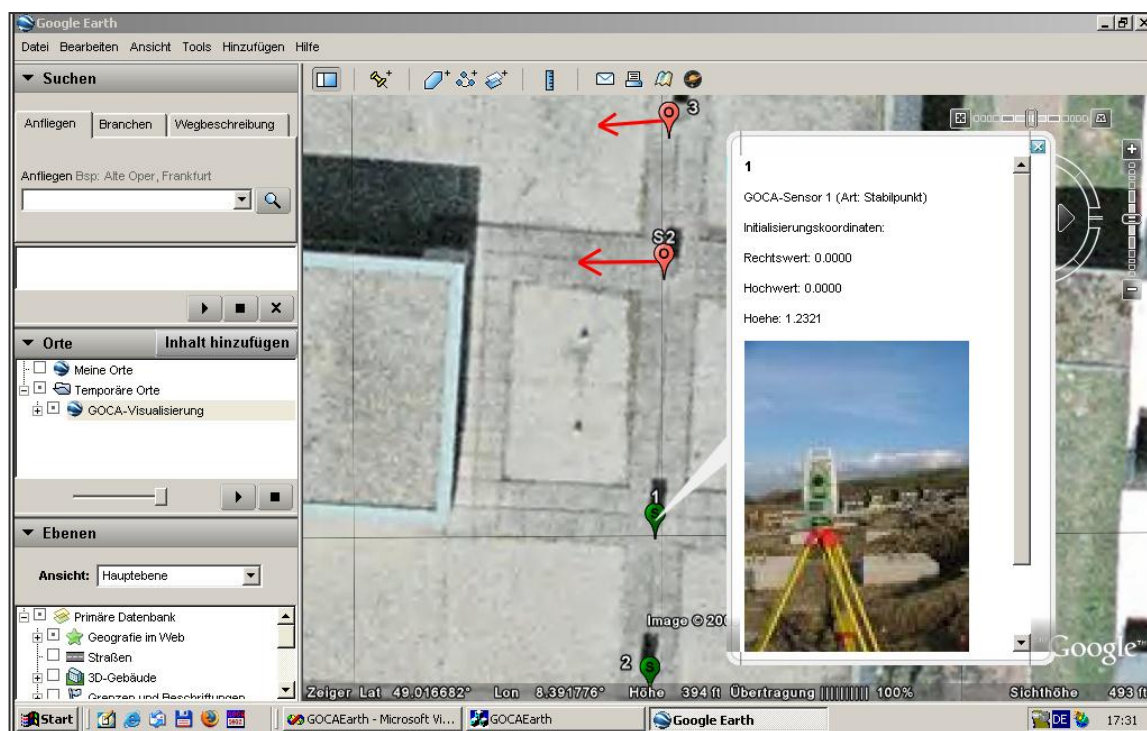


Рис. 13. Интерфейс пользователя GOCAEarth (слева). Визуализация деформаций (в середине). Таблица состояния деформаций (справа)

Под трансформацией здесь имеется в виду двумерное преобразование соответствующих координат. Для каждого типа данных, а также для позиции сенсора создается собственный kml-файл, который затем передается по так

называемой сетевой ссылке в GoogleEarth. Эта ссылка также обеспечивает обновление отображения kml- файлов, так что GOCAEarth только периодически переписывает соответствующий файл. Пользователь может контролировать правильность перенесения отдельных типов данных в свойствах пунктов объекта в табличной форме (рис.13).

Оповещение при помощи GOCA-Alarm

Оповещение при помощи GOCA-Alarm является заключительным шагом в цепочной последовательности геомониторинга (рис.12). Оповещение в критических ситуациях происходит с помощью конвертирования данных полученных от GOCA (GNSS и TPS Контроль) в физический сигнал. Срабатывание физического сигнала зависит от критической ситуации (неисправность в аппаратуре, в ПО, перемещение строительных конструкций). Таким образом, инженер получив сигнал о критической ситуации, может приступить к ее немедленному устранению.

Существует также возможность при наличии свободного порта COM реле подсоединить к системе лампу аварийной сигнализации или сирену для немедленного оповещения всех сотрудников о критической ситуации. Если есть доступ к интернету, оповещение также может быть выполнено посредством СМС или электронной почты, при этом должен быть установлен соответствующий доступ в программном обеспечении электронного провайдера. На сегодняшний день ПО GOCA доступен на немецком, английском и русском языках.

Аппаратное оборудование

Используя данные GKA (рис.2) любое аппаратное оборудование GNSS или TPS может быть использовано в цепочной последовательности геомониторинга (рис.12) в системе GOCA. Исходя из этого, геодезическое оборудование Trimble управляется с помощью ПО Trimble-Контроль. В настоящее время ПО GOCA GNSS-Контроль может быть применено в сенсорах от производителей Topcon, Sokkia, Leica Geosystems, Septentrio, ublox и Novatel GNSS. GOCA TPS-Контроль способен контролировать тахеометры от производителей Leica Geosystems, Topcon и Sokkia.

Заключение

Метод уравнивания фундаментальной сети в GOCA обеспечивает единую пространственную привязку и оценку состояния деформаций, т.е. смещений, GNSS/LPS-сенсоров на точках объекта в системе координат опорных точек. Для геодезического онлайн-анализа смещений точек объекта может быть выбран гибкий, определяемый пользователем MVE, или оценка смещения (SHT), или фильтр Калмана (смещение, скорость и ускорение). Данные локальных сенсоров (LS) также могут быть проверены системой GOCA на 3-м этапе работы. Применение метода наименьших квадратов и робастной оценки в процедурах анализа деформации позволяет так настроить систему оповещения, чтобы она срабатывала только в случае достижения критического состояния, доказанного статистической проверкой. Оценка непрерывных временных рядов смещений объектов и вектора состояния локальных сенсоров, обеспеченная GOCA, открывает новые перспективы в анализе деформаций и калибровке

моделей. Что касается представленного перехода от классического геометрического анализа деформации к т.н. системному анализу, то этого требуют интересы геодезии и других дисциплин, таких, как геодинамика, геотехника и гражданское строительство. Что касается мониторинга деформации структур, дальнейшее развитие математических моделей будет осуществляться путем интеграции дополнительных параметров (как например, параметры материалов, модели повреждения), так и дополнительных приборов (например, тензометр и инклинометр) с использованием системного анализа. Представленный выше пример использования системы GOCA для наблюдения за дамбой показывает, что с помощью постоянного геодезического мониторинга можно получить высокоточный вектор изменения $\mathbf{y}(t)$ смещения $\mathbf{u}(t)$, скорости $\dot{\mathbf{u}}(t)$ и ускорения $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ точек объекта. Эта информация может быть использована в дальнейшем для долговременного прогноза состояния плотины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jäger, R. and S. Kälber (2001): GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA) - A Geodetic Contribution for Hazard Prevention. Proceedings International Conference on Landslides Causes, Impacts and Countermeasures. Davos, Switzerland, June 17-21. (In: Kühne, Einstein, Krauter, Klapperich, Pöttler (Eds.)), ISBN 3-7739-5969-9 Runge, GmbH, Cloppenburg. S. 261 – 275
2. Eichhorn, A. (2005): Ein Beitrag zur Identifikation von dynamischen Strukturmodellen mit Methoden der adaptiven Kalman-Filterung. DGK-C Nr. 585. Deutsche Geodätische Kommission, München.
3. Jäger, R.; Müller, T.; Saler, H. and R. Schwäble (2005): Klassische und robuste Ausgleichungsverfahren - Ein Leitfaden für Ausbildung und Praxis von Geodäten und Geoinformatikern. ISBN 3-87907-370. Wichmann Verlag.
4. Jäger, R. and S. Kälber (1999-2012): www.goca.info. GOCA-WebSite.
5. Kälber, S. and R. Jäger (2000): Realization of a GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA) and Preview on Appropriate System Analysis Models for an Online Monitoring. Proceedings of the 9th FIG-Symposium on Deformation Measurement and Analysis. Sept. 1999, Olsztyn, Poland. p. 98 -117.
6. Jäger, R., Weber, A. und R. Haas (1997): Ein ISO 9000 Handbuch für Überwachungsmessungen, DVW-Schriftenreihe, Heft Nr. 27, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
7. Jäger, R. and F. Gonzalez (2005): GNSS/GPS/LPS based Online Control and Alarm System (GOCA) - Mathematical Models and Technical Realisation of a System for Natural and Geotechnical Deformation Monitoring and Hazard Prevention. IAG Series on Geodesy Symposia. Springer. ISBN 3540385959. S. 293 – 304.
8. Jäger, R. (2008): Geodetic Monitoring Systems – Profile and Mathematical Modelling for a Scaleable Structural Deformation Analysis and Realization by the Monitoring System GOCA. Proceedings FIG WG 6.3 Workshop “Current Challenges of Engineering Surveys”, Siberian State Academy of Geodesy (SSGA). ISBN 9785876932822.
9. Lienhart, W. (2007): Analysis of Inhomogeneous Structural Monitoring Data. Dissertation, Series Engineering Geodesy TU Graz. Shaker-Verlag, Aachen.
10. Pelzer, H. (1971): Zur Analyse geodätischer Deformationsmessungen. DGK, Reihe C, Nr. 164, München.
11. Jäger, R. und K. Fuchs (2009): Geodätisches Monitoring des Moskauer Kreml – Deformationsanalyse von Hebungen und Setzungen mit GOCA und GOCA-Virtual-Sensor. Posterpräsentation zur INTERGEO 2009, Karlsruhe. Posterdownload: www.goca.info.

12. Jäger, R., Hoscislawski, A. und M. Oswald (2009): GNSS/LPS/LS based Online Control and Alarm System (GOCA) – Mathematical Models and Technical Realization of a Scalable System for Natural and Geotechnical Deformation Monitoring and Analysis. p. In (E. Bauer, S. Semprich and G. Zenz (Eds.)): Proceedings of the 2nd International Conference “Long Term Behaviour of Dams”, October 2009. Verlag der Technischen Universität Graz, University of Technology. ISBN 9783851250701. p. 387 – 394.

13. Jäger, R. , M. Oswald und P. Spohn (2010): VirtualGOCA – Generierung von Sensordaten zur Modell- und Softwarevalidierung sowie zur Planung und Analyse von Monitoringszenarien in virtuellen Geosensornetzen mittels Google-Earth. Wasserwirtschaft - Zeitschrift für Wasser und Umwelt 10/2010, 100. Jahrgang. Teubner +Vieweg Verlag, Wiesbaden. ISSN:00430978. S. 34 - 37.

14. Kabashi, I., Ragossnig-Angst, M. und R. Jäger (2011): Geodätisches Online-Monitoring von alten Bauwerken in gefährdungskritischem Zustand im Zuge von Sanierungen. 16. Internationale Geodätische Woche Oberrurgl 2011. Grimm-Pitzinger, A. ; Weinhold, T. (Hrsg.) Wichmann Verlag, Heidelberg. ISBN 978-3-87907-505-8. Seiten 53-65.

Biographical Notes

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger

Professor for Satellite and Mathematical Geodesy, Adjustment and Software Development at Karlsruhe University of Applied Sciences (HSKA). Head of the HSKA Laboratory of GNSS and Navigation. Head of the IAF Institute of Geomatics at HSKA. Head of RaD project GOCA. Honorary Professor at the Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

Contact

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger

University of Applied Sciences – Institute of Applied Research (IAF).

Moltkestraße 30. 76133 Karlsruhe, GERMANY

Tel. +49 (0)721 925-2620

Fax +49 (0)721 925-2591

Email: reiner.kjaeger@hs-karlsruhe.de

Web-Site: www.goca.info

© P. Ягер, П. Шпон, Т. Шайхутдинов, Т.И. Горохова, А.Ю. Янкуш, 2012

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ПЛОТИН ГЭС

Джоел ван Кроненброк

Leica Geosystems AG, Heinrich Wild Strasse – CH 9435, Швейцария, директор отдела развития бизнес-технологий, тел. +32 474 98 61 93, факс: +32 81 41 26 02, e-mail: joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com

Анализом деформаций практически перестали заниматься. Сегодня эксперты даже не интересуются, есть ли смещения в критических точках сооружения. А, между прочим, из-за тепловых нагрузок и изменения горизонта воды каждое сооружение и в частности ГЭС смещается. Но хорошо если изменение общего состояния предупредит об опасности, тогда и появится необходимость в проведении больших исследований...

Рекомендуется робастное уравнивание результатов измерений различными автоматическими геодезическими инструментами, что гарантирует высокую точность и надежность. Многократные проверки статистической гипотезы позволяют выявлять грубые ошибки и нестабильность опорных точек. Очень важно для задач геодезического мониторинга иметь интегрированную систему, которая бы позволила отличать смещения сооружения от смещений пунктов опорной сети и выявлять, насколько стабильны эти пункты.

В статье дан обзор новых геодезических сенсоров и анализ методов в контексте решения в интересах экспертов.

Ключевые слова: анализ целостности конструкции, ГЛОНАСС, GPS, централизованная обработка данных, RTK, электронные тахеометры, инклинометры, уравнивание методом наименьших квадратов, автоматическое распознавание цели, геодезический мониторинг.

STATE OF THE ART IN STRUCTURAL GEODETIC MONITORING SOLUTIONS FOR HYDRO POWER DAMS

Joël van Cranenbroeck

New Business Division of Leica Geosystems AG, Heinrich Wild Strasse – CH 9435 Heerbrugg, Switzerland, Business Technology Manager, tel. +32 474 98 61 93, fax +32 81 41 26 02, e-mail: joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com

The aim of deformation analysis has shifted and nowadays experts are not even looking if critical points of a structure have moved (and by the way due to thermal loads and the modification of water levels every structure such Hydro Power Plant is moving) but well if some patterns have significantly changed to be alerted and lead more investigations...

The combination of measurements from multiple geodetic automatic instruments can be handled by a robust adjustment ensuring the highest precision and reliability. The detection of outliers is based on multi-level statistical hypothesis tests as well as the detection of unstable fixed points. It is essential for geodetic monitoring applications to have a complete system that can distinguish movement of the structure from problems in the reference frame and can identify which reference points are stable and which are not.

The paper will review the performances of new geodetic sensors and analysis methods regarding the context of a solution that would address the today interests of the experts.

Key words: Structural Health Analysis, GLONASS, GPS, Centralized Processing, RTK, Total Stations, Inclinometers, Least Squares Adjustment, Automatic Target Recognition, Geodetic Monitoring.

SUMMARY

The technical field of structural monitoring has made major progress in the recent years. New developments were driven by the need to keep engineering infrastructures in service beyond their expected lifetime due to limited funds for their replacement or because major modifications (like the change of turbines for increasing the power capacity) will impact. The environment can also change (seismic events, tsunami) and hurt the infrastructures especially if the code of construction has been under evaluated.

Actually the term “Structural Health Monitoring” is more and more often used and refers to methods which access the health status and safety of a structure and make estimation of its remaining lifetime.

However, structures can only be kept in service if they do not put the safety of the users at risk. Critical parts of a structure as well as global behaviour have to be monitored in continuous intervals with high precision.

The aim of deformation analysis has shifted and nowadays experts are not even looking if critical points of a structure have moved (and by the way due to thermal loads and the modification of water levels every structure such Hydro Power Plant is moving) but well if some patterns have significantly changed to be alerted and lead more investigations ...

With highest resolution and highest recording rate of today's instruments the small deformations caused by the daily temperature changes, water levels etc. can be observed.

The paper will review the performances of new geodetic sensors and analysis methods regarding the context of a solution that would address the today interests of the experts.

1. FACING NEW CHALLENGE

Engineering companies and contractors are facing challenges never experienced before. They are being charged with – and being held liable for – the health of the structures they create and maintain.

To surmount these challenges, engineers need to be able to measure structural movements to millimeter level accuracy. Accurate and timely information on the status of a structure is highly valuable to engineers. It enables them to compare the real-world behavior of a structure against the design and theoretical models.

When empowered by such data, engineers can effectively and cost efficiently measure and maintain the health of vital infrastructure. The ability to detect and react to potential problems before they develop helps in the reduction of insurance costs and the prevention of catastrophic failures that may result in injury, death or significant financial loss.

A structural monitoring system will help reduce both the current and long term maintenance cost associated with structural movement and will reduce risks, as data

analysis can be used to aid the understanding of current and future implications of structural movements. Safety and structural integrity concerns can be minimized. Potential problems can be detected and rectified before a critical situation develops.

2. FROM AUTOMATIC SURVEYING TO PRECISE CONTINUOUS MONITORING

Based on surveying sensors like GNSS receivers and Automatic Total Stations, Geodetic Monitoring solutions are integrating also wireless communication tools, acquisition software's, PC servers, accessories, power supply, solar panels, weather station, warning sensors, web interfaces and analysis to become complex systems.

And if the engineers today are considering often the surveying instrumentation just like "sensors" to be plugged and connected to even their real time analysis software's, they shouldn't forget that the key for succeeding in their monitoring projects is first to consider instrumentation and equipments that can deliver high accurate and reliable measurements 24 hours a days and 365 days a year through any communication media under any weather conditions and remotely controlled.

All modern automatic geodetic instruments can be combined in various systems where GNSS antennas collocated with 360° reflector are acting as "Active Control Points" for Automatic Total Stations networked.

If multiple total stations are able to make measurements to a common set of prisms, the measurements can be combined in a mathematically optimal way known as network adjustment.

By combining the measurements in a network adjustment it is possible to increase the precision of the solution's estimates and determine a common reference frame for all total stations even in the case that some of total stations cannot observe stable control points or are themselves unstable.

It has been proved also that the combination of a very precise inclinometer with a GNSS antenna and receiver can consist a stand-alone basic monitoring station for high rise buildings and dams monitoring and that the performances of such precise dual-axis inclinometer can fairly compete in the frequency domain with an accelerometer.

Recently the benefit of GNSS Network RTK corrections to provide unbiased positioning information from GPS and GNSS monitoring receivers has been demonstrated for several monitoring projects in Hong Kong and reported in several International Conferences such as ION (USA) and the FIG International World Congress in Sydney 2010.

But it's not only concerning the Geodetic instrumentation and actually today there is a growing interest to collocate and correlate the information's from the geotechnical sensors and with the geodetic sensors to develop an integrated deformation model. The GNSS receivers have the capacity to time synchronize all the other sensors by their PPS output and the geotechnical sensors can be considered to "offset" the geodetic locations.

3. AUTOMATIC NETWORK ADJUSTMENT AND DEFORMATION ANALYSIS

Continuous Geodetic Monitoring systems must also have the capacity to process in timely manner the huge amount of data gathered in a central computing centre to deliver in simple ways (graphically and with clear reports) the reliable warnings and alarms.

It's therefore just mandatory to consider an automatic least squares network adjustment where the single epoch automatic deformation analysis is based on a rigorous statistical approach and can also be used for designing a monitoring project to match the expected accuracy requirements.

The combination of measurements from multiple geodetic automatic instruments can be handled by a robust adjustment ensuring the highest precision and reliability. The detection of outliers is based on multi-level statistical hypothesis tests as well as the detection of unstable fixed points. It is essential for geodetic monitoring applications to have a complete system that can distinguish movement of the structure from problems in the reference frame and can identify which reference points are stable and which are not.

It is also of the prime importance for the engineers managing monitoring projects to have the tool to design the setup of the instruments in such a way that the ensemble will fit with the expected accuracy. Least Squares Adjustment can simulate the mathematical geometry to optimize the network accuracy and reliability.

4. HYDRO POWER PLANT STRUCTURAL GEODETIC MONITORING

Each site where a Hydro Power plant has been designed and built is unique and it's why a geodetic monitoring solution should be carefully designed taking into account various parameters in the setting of the stations, the control points and the most appropriated technology to locate the points of interest.

The technical characteristics of facilities and contractor network design are to provide generally the accuracy of planned coordinates of monitoring points after processing by specialized software with errors (root-mean-square deviation – RMSD) not exceeding the values below:

- Horizontal: $\pm 3\text{mm}$ (two times standard deviation).
- Vertical: $\pm 5\text{ mm}$ (two times standard deviation).

The solution suggested nowadays for achieving such requirements is a combination of GNSS and Automatic Total Station (TPS) technologies into a data fusion system where a strict Least Squares Adjustment model is the processing kernel.

Such combination of GNSS and TPS technologies has already proven its efficiency in several projects (mining, building construction, ground surface monitoring etc.) but it was in 2005 that for the first time that such system has been developed successfully for addressing the challenging accuracy specifications of the Burj Khalifa's tower construction in Dubai (the tallest worldwide building).

The author named the concept “Active GNSS Control Points” where a Total Station is using as control points three to four GNSS antenna’s collocated with 360° reflector.

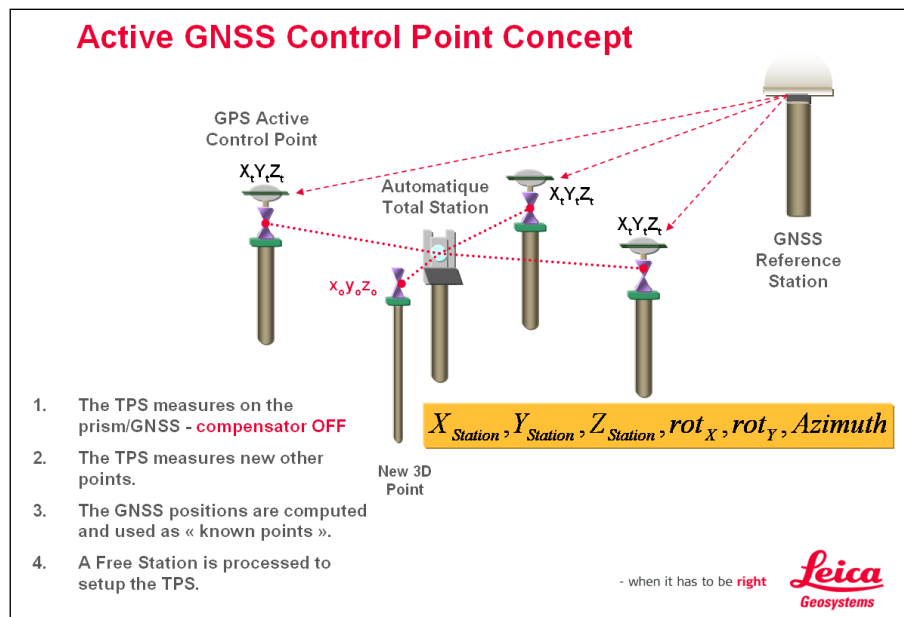


Fig 1: For the Burj Khalifa, the Total Station was even considered as not referenced to the gravity vertical and due to building motion and vibration, the compensator has been switched off. The processing was purely in a 3D frame. Total deflection of the tower was about 4 mm from the design.

In the suggested design for typical Hydropower Dams, all the GNSS Control Points antenna’s would be collocated with a 360° reflector that all Total Stations would be able to measure providing an unique combination of sensors.

Part of the new design is based on the fact that Automatic Total Stations will also measure the directions Hz, Vz and the slope distances to the 360° reflector collocated with the GNSS antenna’s of the Control Points such as illustrated here:

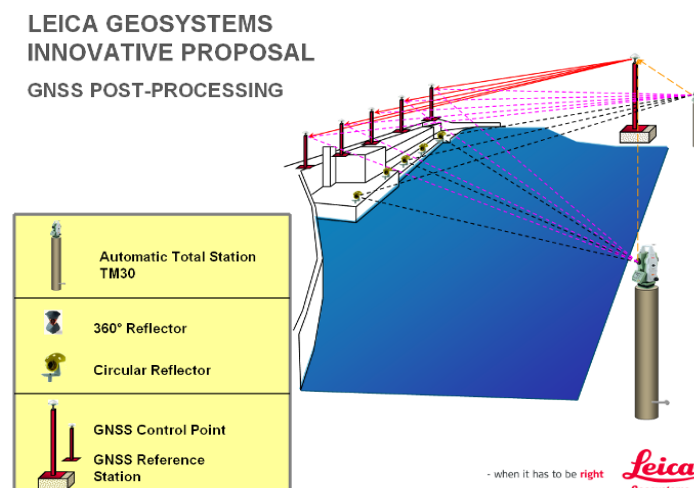


Fig 2: Proposed new design

GNSS data can be processed in either real time (at rates up to 20 Hz) or in post processed mode. Real time processing enables movements to be detected very rapidly and on average has a one sigma accuracy of less than a centimetre for baselines up to 3km (Brown et al. 2006). The accuracy of real time processing is related to the geometry of the satellite constellation (the number, azimuth and elevation of the satellites that are tracked) at the time of measurement.

The GPS satellites travel with a speed of 4 km/s and orbit the earth approximately every 12 hours. Hence, the satellite geometry is constantly changing and there are times of the day when it is good and other times when it is poor, especially if the sky view is restricted. In times of poor satellite geometry it may not be possible to compute a high accuracy (ambiguity fixed) solution and the reliability of the solution (the probability that the ambiguities are resolved correctly) will be lower.

If high accuracy and reliability is critical, a better option is to collect data over a defined period (e.g. 10 minutes, 1 hour, and 24 hours) and post process. In post processing more data can be used to estimate the parameters (coordinates, ambiguities, error models) mitigating short term problems due to poor satellite geometry and resulting in a more reliable and accurate solution. Usually the result of post processing is a single high accuracy coordinate, essentially an average over the time period. Long data periods (e.g. one hour or more) also enable additional parameters to be estimated to account for atmospheric (troposphere) influences, which are strongly correlated with the station height, further improving the accuracy. As an additional step, a median can be computed from the post processing results over a longer time period in order to avoid any potential problems due to outliers.

Post processing combined with a median calculation is a very stable and accurate method for computing and updating reference coordinates using GNSS data. The downside of this approach is that if a sudden movement occurs, it will take some time for the system to react. The solution is then to compute multiple position estimates: a rapid estimate using real time data or a short post processing interval to detect sudden movements to provide alarms to the operator; and a slower estimate using a longer post processing interval to correct for the gradual movements of the pillars.

The standard mode of precise differential positioning is for one reference receiver to be located at a reference station whose coordinates are known, while the second receiver's coordinates are determined relative to this reference receiver. The use of carrier phase data in real-time, single baseline mode (one reference station and one rover or user receiver's coordinates to be determined in a relative sense) – also known as “single-base” mode – is now common place.

These systems are also referred to as RTK systems (“real-time-kinematic”), and make feasible the use of GPS/GNSS-RTK for many time-critical applications such as engineering surveying, GPS/GNSS-guided earthworks/excavations, machine control and structural monitoring applications.

Over the last decade and a half the use of GPS (and now GNSS) for structural monitoring, of dams, bridges, buildings and other civil structures, has grown considerably (see Ogaja et al., 2007, for a recent review), and nowadays the GNSS-

RTK technique is widely used around the world. Such systems output continuous streams of coordinate results (or time series). The dynamics of the structure typically defines the nature of the coordinate analysis. For example, if a structure vibrates or deflects due to wind or surface loading the time series analysis is conducted in the frequency domain (see, e.g., Li et al., 2007), otherwise standard geodetic deformation monitoring techniques based on advanced network least squares analysis are used (Ogaja et al., 2007).

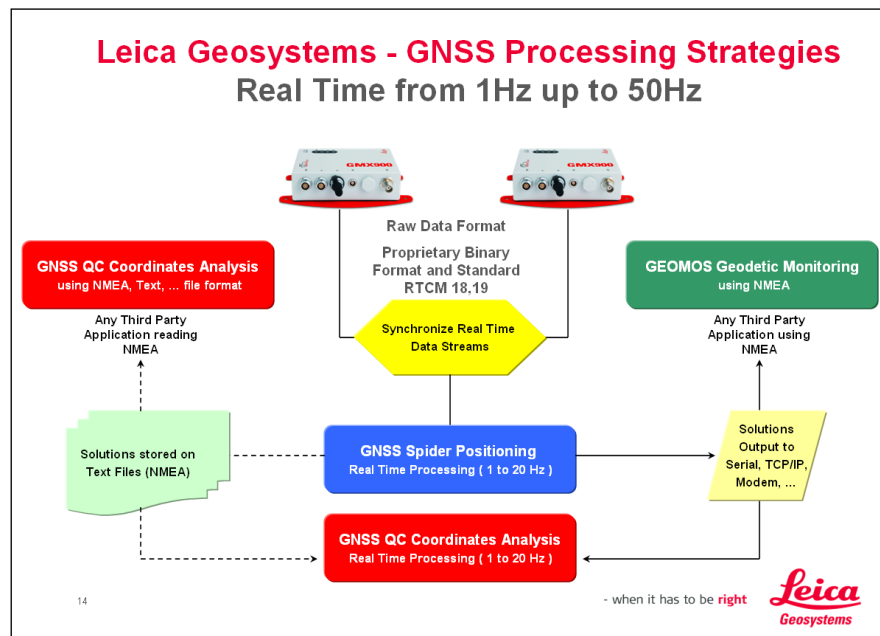


Fig 3: Leica GNSS Spider Positioning is centralized RTK processing “multi-baseline” software.

The interest of having at least two GNSS Reference Stations in a monitoring project is that both GNSS Reference Stations can also check each other in a relative mode to detect eventual movements that would be disastrous on the GNSS Monitoring points. Last but not least a second GNSS Reference Station is also part of backing-up the system. This is clearly an “Integrity Control” solution.

The other significant advantage of having a “centralized” processing approach is that for the processing of the various baselines, the GNSS Reference Station can be selected freely and all combination of baselines can be considered.

Even more interesting is that the position between the GNSS Control Points or monitoring stations can also be processed using different combination and mode. Each baseline for instance can be processed in dual frequency (L1 and L2) mode but also in the single frequency mode (L1) and considering only GPS or GPS and GLONASS.

The resolution of the ambiguities has been also extended with the “Quasi-Static” initialisation method where the variance of the GNSS monitoring station is considered for speeding up the initialisation time to fix.

5. GNSS POST-PROCESSING AND TOTAL STATIONS FUSION DESIGN

If GNSS positioning technology allows various mode of processing such as “Real Time Kinematic” only the “Post-Processing or “Near Real Time” mode is able to combine closely and at a compatible accuracy the measurements GNSS receivers with those obtained by the Total Stations an integrated rigorous Least-Squares Adjustment model.

The final design the author would suggest is then the following:

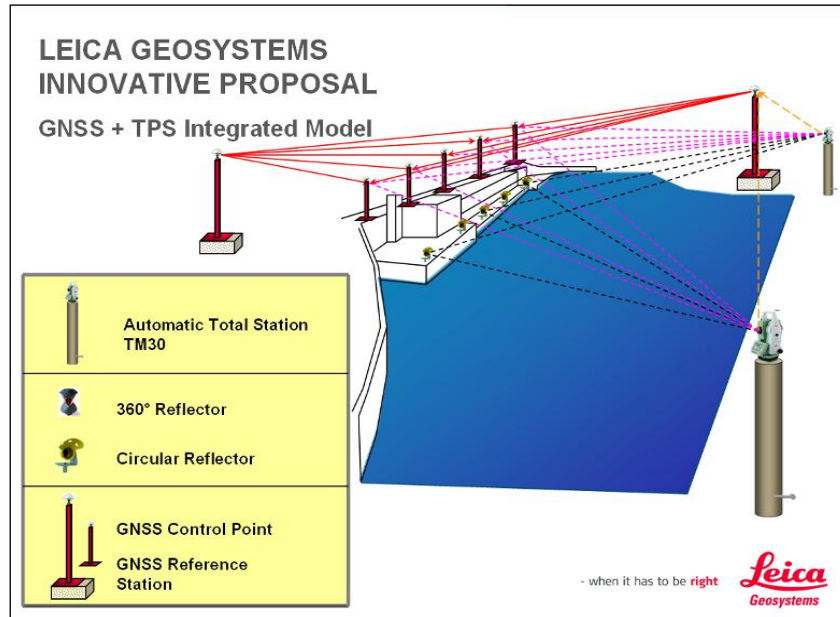


Fig 5 : Author’s final design proposal considering two GNSS Reference Stations surrounding the Hydropower Dam’ sites to be integrated with the Total Stations measurements by using 360° reflectors collocated with the GNSS Antenna’s Control Points into a global Least Squares Adjustment model.

To summarize the value proposition to consider more than only one GNSS Reference Station in that model:

- The computation of single baselines from the GNSS Reference Station to the GNSS Control Points cannot be controlled (no redundancy) independently and will depend entirely of the performances of that GNSS Reference Station. Simply said, there is no “back-up” no double check. Karl Friedrich Gauss favourite’s sentence was “*Eine messung is keine messung!*” that could be translated by “*One measurement is not a measurement!*”

- One can argue that already in the design, the Total Station’s measurements can control the performances of the GNSS processing (comparing the directions H_z , V_z and the slope distances D_s). But that will not bring enough contrast in the solution to clearly indentify possible “outliers” and much more important to discriminate if it is a movement induced by the deformation of the structure or simply by the noise level of the solution.

- The Total Station measurements will also be affected by the refraction caused by the water surface and the high humidity level. It’s suggesting to install

meteo sensor outside the hut protecting the Total Station to mitigate some part of the refraction influence (using the well known Barrel and Sears model) but comparing the distance from the GNSS Receivers and the distance deduced from the solution obtained from the Total Station will “scale-up” the distance biased by the remaining un-modelled effects of the refraction. Therefore the following design will allow experts to study and derive the correct refraction model applicable in such very local case and tune the network processing accordingly the results.

– We cannot pretend that the areas where Hydro Power dams are located will not be subject to deformation as well. There is a large interest today in the “reservoir induced earthquake”. In numerous parts of the world today, including some of the most highly developed countries, many dam designers and operators have tended to close their eyes to the engineering problems posed by reservoir-induced earthquakes. Virtually every careful study has concluded that there is indeed a cause-and-effect relationship between some earthquakes and some reservoirs, and two dams (Koyna, India, and Hsinfengkiang, China) have in fact come uncomfortably close to disastrous failure during such events. Furthermore, it is precisely in the regions of low natural seismicity where the major existing problems lie, because in areas of high seismicity dams are usually designed for substantial earthquake resistance anyway. For those reasons, the author is advocating to have one of the GNSS Reference Station as “Master” Reference Station to be part of a Regional Integrity monitoring program that would ideally be lead by the institution that has such positioning infrastructure under his responsibility.

We would like to stress that for “safety” driven projects, the results provided by a Deformation Permanent Monitoring System must be un-ambiguous and definitively not subject to contestation or justification by “force majeure” elements.

6. PROCESSING WORKFLOW

All the data streams from the GNSS Receivers are gathering in real time mode into software such Leica GNSS Spider and share with different modules.

Leica GNSS Spider Site Server is managing the incoming observation streams to archive and convert the data into the RINEX file format for quality check, transfer to the Integrity Monitoring processing centre and used for GNSS Post-Processing sequences.

At an interval defined after the pre-run analysis of the network, all the data streams from the GNSS receivers are converted into the standardized data exchange format RINEX.

As soon those RINEX files will be produced (every 10 minutes, 1 hour, 6 hour, ... daily), the software will automatically post-processed the various combinations of baselines defined and will write the results into the SQL database for being pulled out by the monitoring software and combined automatically into a rigorous Least Squares Adjustment with the Automatic Total Stations measurements.

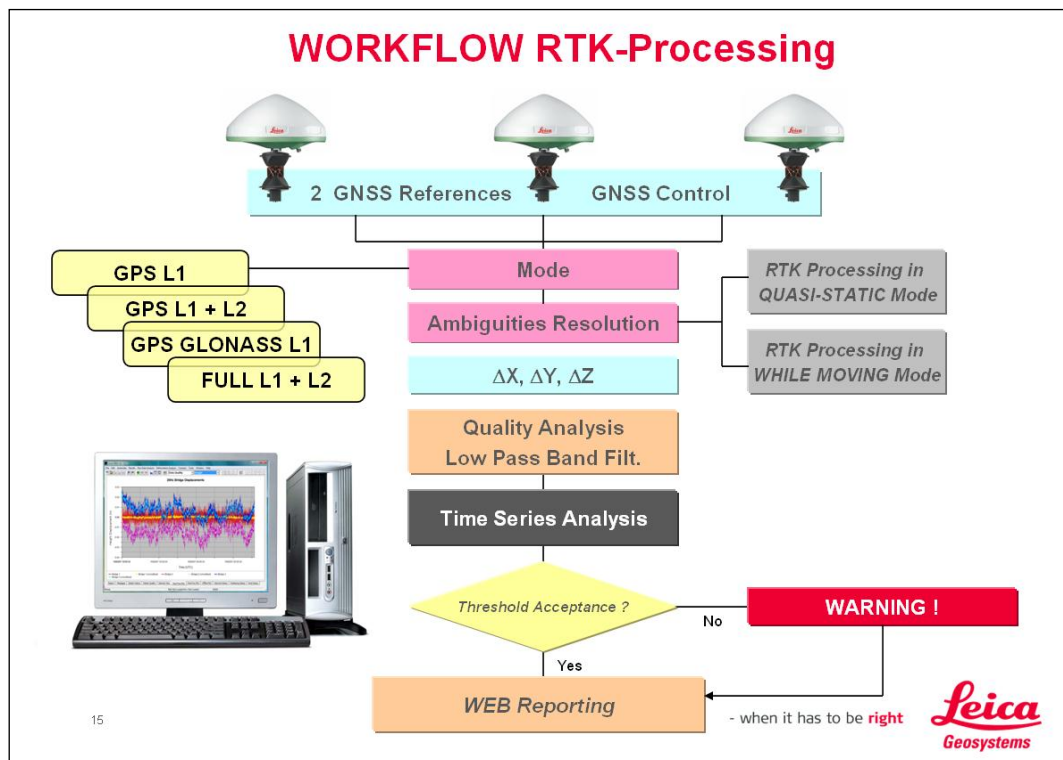


Fig 6: Workflow processing for GNSS RTK-Processing. The same baseline can be processed in parallel using different parameters.

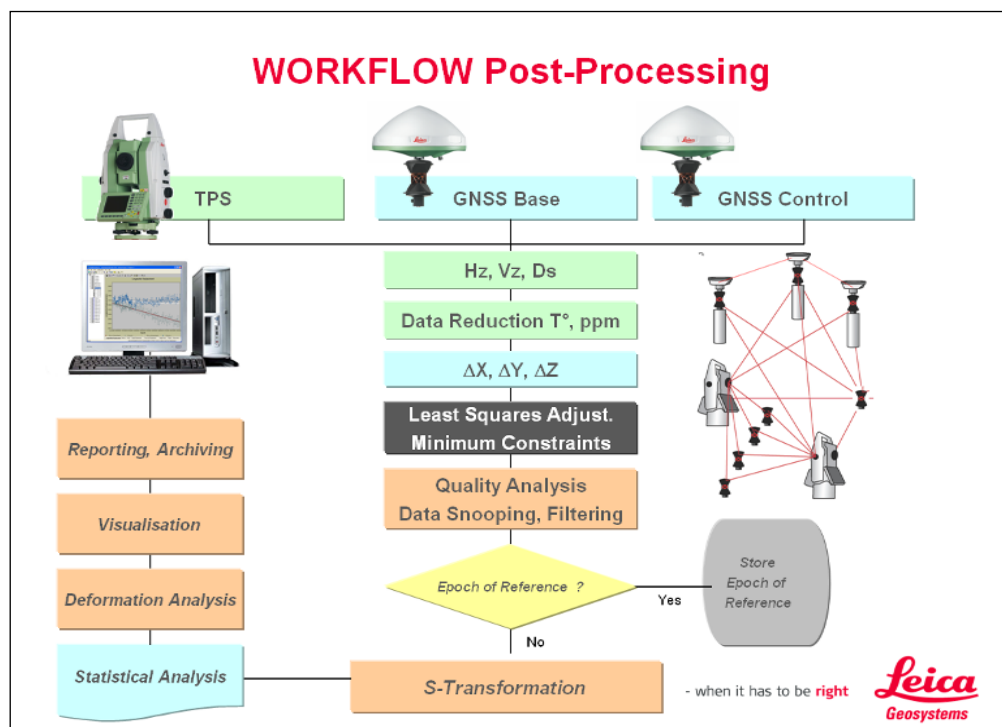
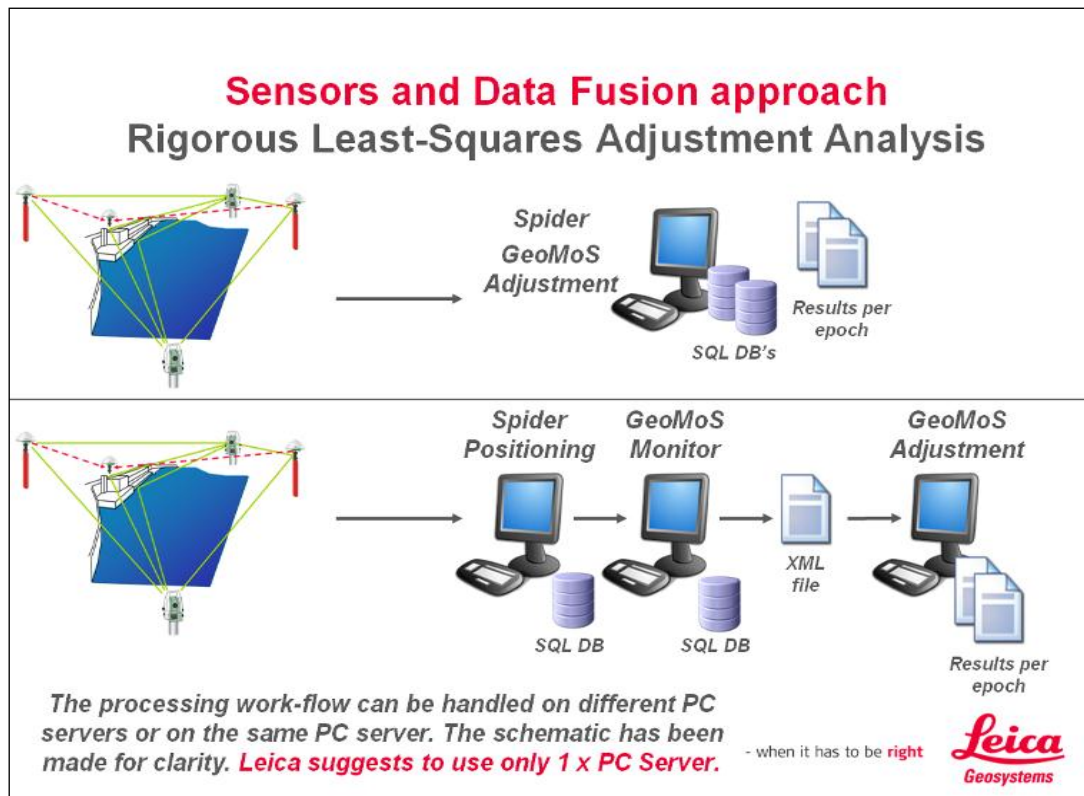


Fig 9: Workflow GNSS Post-Processing with integration of Total Station measurements into a global model of Adjustment.

The software is also driving the geodetic sensors such as GNSS receivers and Total Stations and processing - after reduction - the observations separately to provide estimated coordinates, while the automatic adjustment module is integrating all the observations into a global model.



One point of criticism on the complex adjustment systems is the danger one has of losing track. This could jeopardise the advantage of saving computing time in minor or average networks. This system however offers for the user a strategy to obtain results in a clear way for best interpretation. This advantage is achieved using network analysis and the methods of pre-analysis in terrestrial and GNSS analysis for an automatic calculation of coordinates and the detection and elimination of gross errors.

The Least Squares Adjustment is based on a three steps processing scheme that starts by considering all the control points as unknown. That's what it calls a "free network" adjustment where the processing is concentrated on the measurement without applying any constraint from fixed points like the one formed by the GNSS Reference Stations.

The eventual "outliers" detected in the measurement (those that are exceeding statistical thresholds determined by hypothesis test confidence levels and flagged by a global F-test and a individual T-test) will be de-weight and therefore their influences will not impact the processing of the coordinates.

The second step is the "weighted constraint" adjustment, where the fixed points will be characterized with a corresponding variance-covariance matrix (stochastic

model) to constraint ad minima the coordinates and therefore validate the stability of the datum.

Finally the third step is the “full constraint” adjustment where all the fixed points will condition the observations to produce the last set of coordinates for the control points.

Along all those steps, a multiple hypothesis test is carry to analyse the congruency of the functional model (supposed to be linear while systematic errors such those induced by un-modelled effects of the refraction), the stochastic model (assuming the a priori variance factor and the covariance are reflecting the effective accuracy of the observations) and the observations.

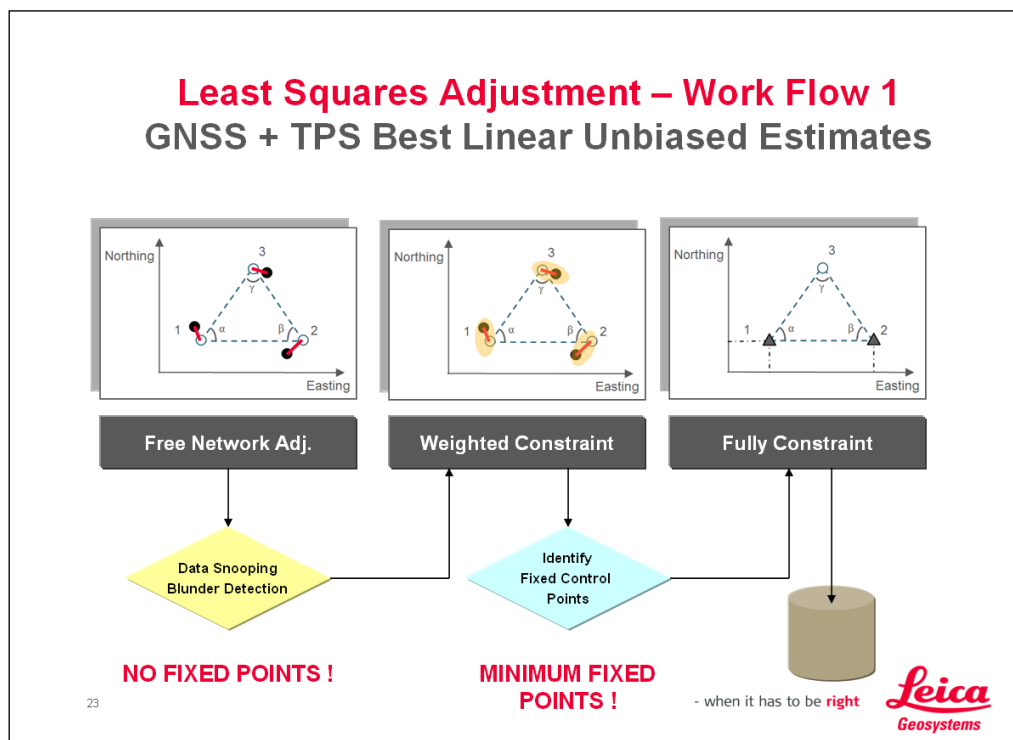


Fig 10: The automatic adjustment module is processing a rigorous Least Squares Adjustment in several steps to insure best linear unbiased estimators for all the control points.

The automatic deformation analysis is based on epoch-by-epoch scheme by considering the initial set of coordinates as the reference epoch. Each adjustment is producing a coordinates vector and its corresponding variance-covariance matrix with the a-posteriori variance factor that are first aligned using a similarity transformation type often named “S-Transformation” from which the residuals are analysed using hypothesis tests to check the “normality” of the corresponding distribution associated at each epoch.

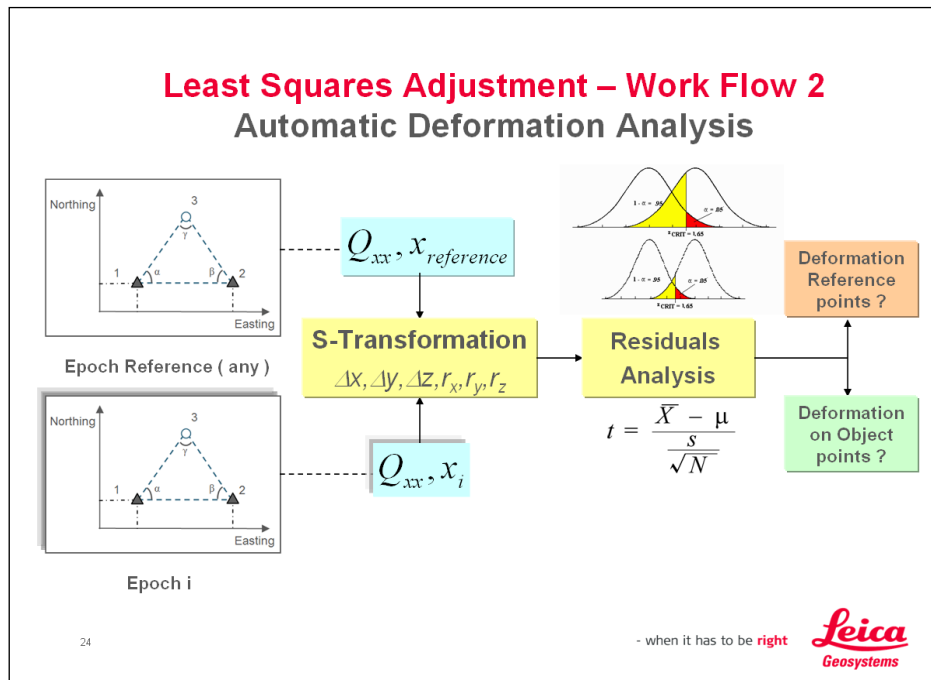


Fig 11: The automatic adjustment module is able to check if control points have moved as well as if fixed points (GNSS Reference Stations) are still stable.

7. FEASIBILITY STUDY OF A CASE DESIGN

We will examine first the situation where we could deploy three GNSS Reference Stations, then we will decrease to two GNSS Reference Stations and we will examine at the end what would be the performances with only one GNSS Reference Stations.

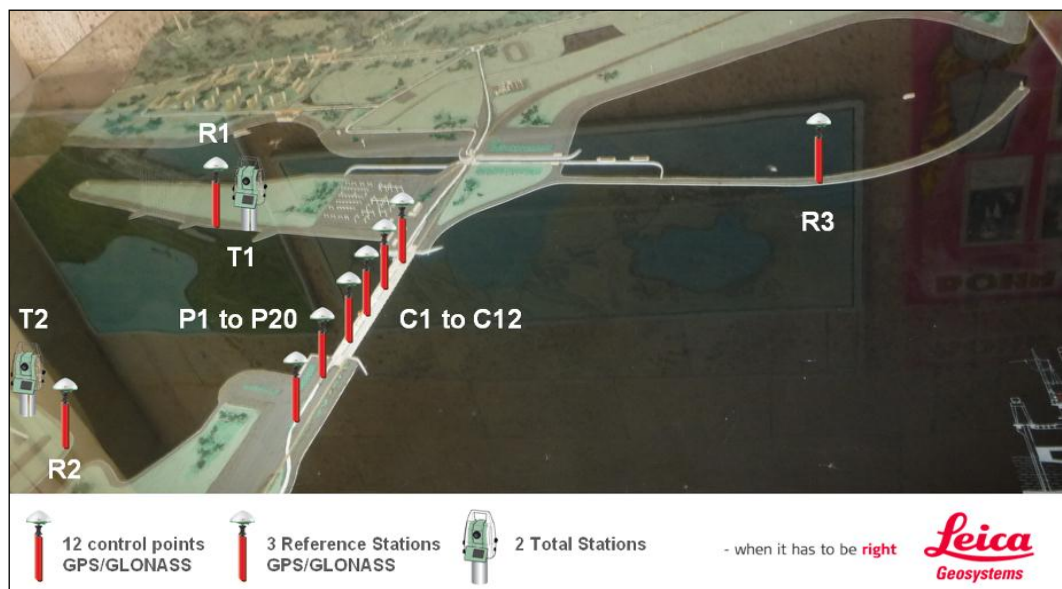


Fig 12: Design with three GNSS Reference Stations – Accuracy is meeting and exceeding the specifications.

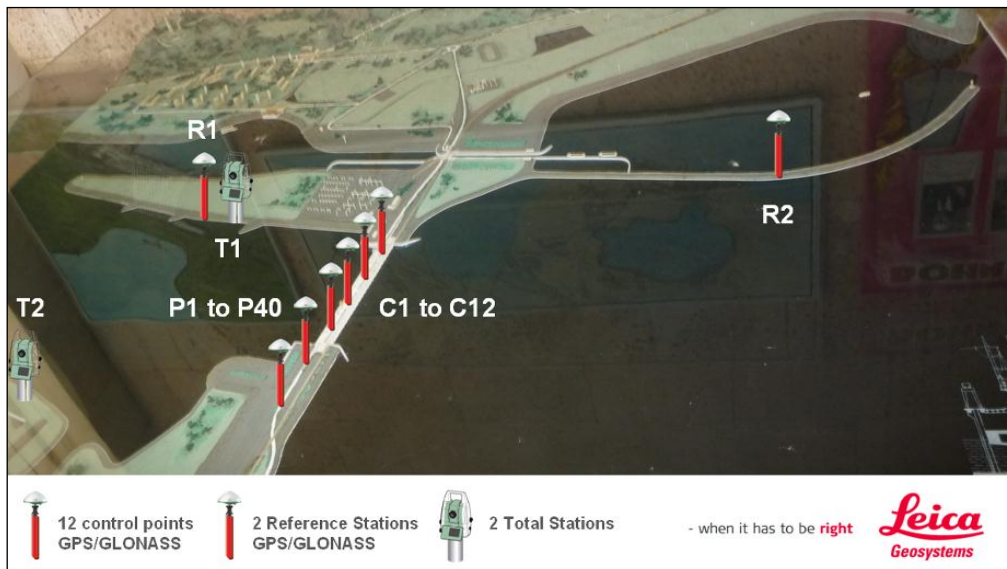
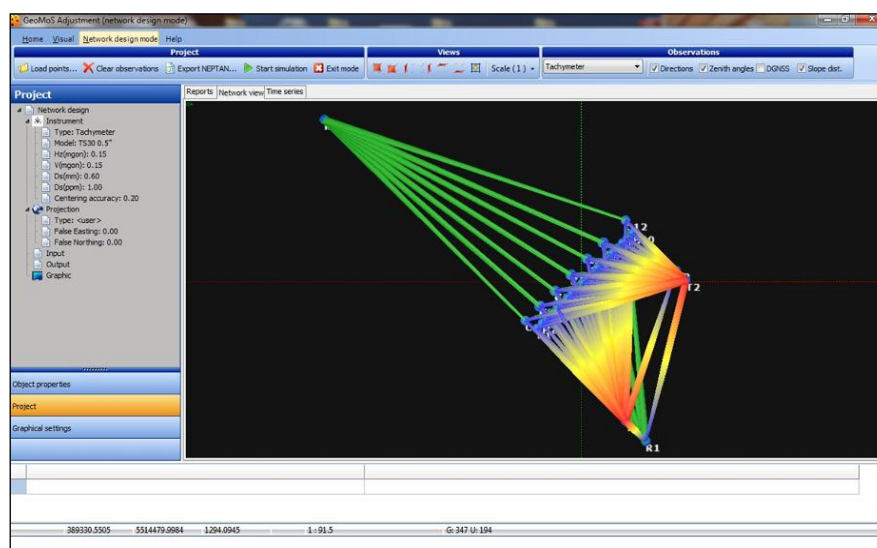


Fig 13: Design with two GNSS Reference Stations – Accuracy is meeting and exceeding the specifications. Difference with three GNSS Reference Stations is only about 0.2 mm!

From this design, we have estimated the position of every sensor as well as the position of several circular reflectors. The level of all the points has been estimated from the graphics delivered with the initial specifications.

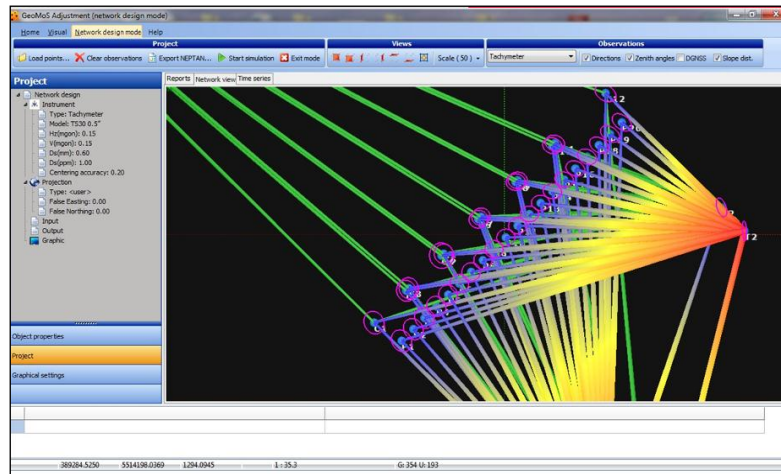
Having all the coordinates into a grid datum arbitrary defined we simulated all the observations that would be carried in the reality.

Adjustment software has the capacity to simulate a Least Squares Adjustment ignoring the real values of the observations but considering the associated stochastic model closed to the reality and based on the instrumentation and performances that could be achieved in real conditions.



In that simulation mode the size and direction of the error ellipsoids are indicators of how the design could impact on the final coordinates accuracy.

We can deduce from their numerical values that the results will be precise and homogeneous indicating that the proposed design based on three GNSS Reference Stations and the combination of GNSS Control Points collocated 360° reflector with the Total Stations meets and exceeds the accuracy requirements of the tender specifications.



The output of the simulation gave us also for each observation an estimate about the capacity each of them will have to detect a deformation of the related point.

The average standard deviation for the monitored object points in plane is about 1mm for the height 1.4 mm. This allows detecting movements – deformation in the engineering object better 2mm. The local redundancy is between 30 and 70 % and allows a reliable detection of deformations.

Finally the selected network geometry and defined instruments (GNSS and Total Station type) allows achieving a real reliable network for a long term monitoring.

In that table we have put for that given situational design the different values for the RMS xy and RMS z as performance criteria. The point C1 is compared with the point C2 (used as a reference and processed with 3 x GNSS + 2 x TPS).

So we can see that a network based on 2 x GNSS + 2 x TPS is offering theoretically the same performance level in term of point's accuracy than the 3 x GNSS + 2 x TPS.

Even in case of failure the situation 1 x GNSS + 1 x TPS is acceptable. At the end, the proposed instrument and software for a typical design guarantees to meet the specification in term of accuracy at 2σ level.

In that new design proposal for a Deformation Permanent Monitoring System, the author has described the best possible way to engage the most advanced scalable and flexible geodetic monitoring solution for the various sites where again safety is the prime focus.

	3 x GNSS + 2 x TPS								
<i>Pt Id</i>	<i>Ellipse Or.</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>M_x</i>	<i>M_y</i>	<i>RMS XY</i>	<i>RMS Z</i>	<i>Δ RMS XY</i>	<i>Δ RMS Z</i>
C1	207.4	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2	1.8	0.0	0.1
C2	217.4	0.8	0.8	0.8	0.8	1.1	1.7		
	2 x GNSS + 2 x TPS								
<i>Pt Id</i>	<i>Ellipse Or.</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>M_x</i>	<i>M_y</i>	<i>RMS XY</i>	<i>RMS Z</i>	<i>Δ RMS XY</i>	<i>Δ RMS Z</i>
C1	207.9	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2	1.8	0.0	0.1
C2	217.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.8		
	1 x GNSS + 1 x TPS								
<i>Pt Id</i>	<i>Ellipse Or.</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>M_x</i>	<i>M_y</i>	<i>RMS XY</i>	<i>RMS Z</i>	<i>Δ RMS XY</i>	<i>Δ RMS Z</i>
C1	250.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.5	2.4	0.3	0.6
C2	218.2	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2	1.8		
	2 x GNSS								
<i>Pt Id</i>	<i>Ellipse Or.</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>M_x</i>	<i>M_y</i>	<i>RMS XY</i>	<i>RMS Z</i>	<i>Δ RMS XY</i>	<i>Δ RMS Z</i>
C1	200.0	2.2	2.2	2.2	2.2	3.2	7.1	2.0	5.3
C2	218.3	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2	1.8		
	1 x GNSS								
<i>Pt Id</i>	<i>Ellipse Or.</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>M_x</i>	<i>M_y</i>	<i>RMS XY</i>	<i>RMS Z</i>	<i>Δ RMS XY</i>	<i>Δ RMS Z</i>
C1	200.0	3.2	3.2	3.2	3.2	4.5	10.0	3.3	8.2
C2	218.3	0.9	0.8	0.8	0.9	1.2	1.8		

ACKNOWLEDGMENTS

The author would like first to express his special thanks to Dr Ivo MILEV who contributed to the simulation of the various design and also to the people who has adopted and are supporting Leica Geosystems geodetic monitoring solutions.

It is all the time and for every project a team work to find the best combination of instruments, processing software's to design the most appropriated solutions for standard, critical or challenging projects.

The author knows also that in geodetic monitoring there is simply no "traditional" project and for the case of the Hydro Power plant where each site is unique that sentence is particularly true.

REFERENCES

1. Brown, N., Kaloustian, S., Roeckle M. (2008). Monitoring of Open Pit Mines using Combined GNSS Satellite Receivers and Robotic Total Stations.
2. Brown, N., Troyer Lienhart, Zelzer, O., Van Cranenbroeck, J. (2006). Advanced in RTK and Post Processed Monitoring with Single Frequency GPS. Journal of Global Positioning Systems, Vol 5, N°. 1-2:145-151
3. Van Cranenbroeck, J., Brown N. (2004). Networking Motorized Total Stations and GPS Receivers for Deformation Measurement. FIG Working Week, Athens, Greece.

4. Zog, H-M., Lienhart, W., Nindl D. (2009). Leica TS30 – The Art of Achieving Highest Accuracy and Performance.
5. Van Cranenbroeck. J., Aschroft. N. (2007). Single to Multi Frequency GNSS Signal Processing Solutions for Engineering Structure Monitoring Applications. The International Global Navigation Satellites Systems Society Inc. (IGNSS) IGNSS2007 Symposium – The University of New South Wales, Sydney Australia.
6. Van Cranenbroeck. J., Lui. V., Wu. X. (2007). ICE 5th International Conference Bridge – Beijing, supported by the FIG Commission 6 WG4.
7. Van Cranenbroeck. J. (2007). Continuous Beam Deflection Monitoring Using Precise Inclinometers. Strategic Integration of Surveying Services FIG Working Week, Hong Kong SAR, China.
8. [8] Van Cranenbroeck, J. (2007). An Integrated Geodetic Measurement and Analysis System for Large Dams Monitoring. Hydropower & Dams issue 2 : INSTRUMENTATION SYSTEMS FOCUS.
9. Van Cranenbroeck, J. (2006). Core Wall Survey Control System. Opening paper – 3rd IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, 12th FIG Symposium on Deformation Measurement.
10. Lienhart, W. (2007). Analysis of Inhomogeneous Structural Monitoring Data. Engineering Geodesy – TU Graz, Austria. Shaker Verlag

BIOGRAPHICAL NOTES

Joël van Cranenbroeck is currently Business Technology Manager at the New Business Division of Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland. He led the development of hardware and software solutions for GNSS Network-RTK since 2001 and made significant contributions in geodetic monitoring development and applications such as the method for aligning high rise structures (such as the Burj Dubai). Joel is Chair of Working Group 6.2 in FIG Commission 6, was awarded in 2009 the title of Honored Lecturer of the Siberian State Academy of Geodesy in Novosibirsk, and is senior scientist consultant for two universities in Belgium. He designed numerous projects for structural monitoring applications such as bridges, dams, tunnels, etc. He worked at the Belgian Cadastre organization, at the Geodetic Department of the Belgian National Geographical Institute and in Star Informatic – a GIS software based Belgian company – before he joined Van Hopplynus, the Leica Geosystems exclusive representative in Belgium in 1993 as product specialist in GPS, GIS, Engineering and Industrial applications.

CONTACTS

Joël van Cranenbroeck
Leica Geosystems AG
Heinrich Wild Strasse
CH-9435 HEERBRUGG
SWITZERLAND
Tel. +32 474 98 61 93
Fax +32 81 41 26 02
Email: joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com
Web site: www.leica-geosystems.com

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕДОРОГОЙ GNSS

Фолькер Швигер

Технический университет Штутгарта, Институт инженерной геодезии, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174, Штутгарт, Германия, директор института, доктор-инженер, профессор, тел. ++49/711-68584041, e-mail: volker.schwieger@ingeo.uni-stuttgart.de, web-site: <http://www.uni-stuttgart.de/ingeo/>

Ли Чжан

Технический университет Штутгарта, Институт инженерной геодезии, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174, Штутгарт, Германия, научный сотрудник, тел. ++49/711-68584049, e-mail: li.zhang@ingeo.uni-stuttgart.de

В статье описывается использование приемников ГНСС и произвольных сетей для задач мониторинга. В эти задачи входит геодезический мониторинг зданий и инженерных сооружений и природных объектов, например оползни. Последнее время стали активно использоваться недорогие приемники. Наряду с обзором существующих систем мониторинга с использованием ГНСС приводятся и первые результаты, полученные новой системой, разработанной Институтом инженерной геодезии в Техническом университете Штутгарта. Точность определения положения составляет 2 см для измерений с интервалом 10 минут.

Ключевые слова: ГНСС, мониторинг, беспроводная сеть передачи данных, произвольная сеть, топология сетки.

AUTOMATED GEODETIC MONITORING BY LOW-COST GNSS

Volker Schwieger

University of Stuttgart, Institute of Engineering Geodesy, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart, Germany, Director of Institute, Professor, Dr.-Ing, tel. ++49/711-68584041, e-mail: volker.schwieger@ingeo.uni-stuttgart.de, web-site: <http://www.uni-stuttgart.de/ingeo/>

Li Zhang

University of Stuttgart, Institute of Engineering Geodesy, Geschwister-Scholl-Str. 24D, 70174 Stuttgart, Germany, Research Associate, tel. ++49/711-68584049, e-mail: li.zhang@ingeo.uni-stuttgart.de

The contribution deals with the use of GNSS (Global Navigation Satellite System) receivers and ad-hoc networks for monitoring tasks. These tasks enfold the monitoring of buildings and structures as well as natural objects, e.g. landslides. The current trend is to operate plenty of low-priced receivers. Beside an overview of available GNSS monitoring systems, first results of a new system developed at the Institute of Engineering Geodesy of University Stuttgart (IIGS) are presented. The accuracy is characterized by a maximum positional deviation of 2 cm for a measurement interval of 10 minutes.

Key words: GNSS, monitoring, WLAN, ad-hoc network, mesh topology.

INTRODUCTION

In general, a monitoring concept has to be realized for any civil structure (Welsch et al. 2000). The monitoring itself is one of the conceptual pillars to guarantee the reliability and the stability of structures. The other pillars are a measure and emergency concept for occurring irregularities and possible constructive measures. Monitoring can be subdivided into visual inspection, function tests on a regular basis, and the monitoring surveys. The measurements control the state and, if a high data rate is chosen, the reaction of the monitored objects. From a geodetic point of view, monitoring deals with geometric quantities and therefore rigid body movements and deformations of the object. Since this contribution focuses on GNSS, the monitoring from outside the civil structure is of interest only. The internal view into the object is not possible using GNSS.

The dominating trends for monitoring are automation and continuity. In the past years monitoring surveys were realized in defined time epochs (e.g. once a month or once a year, so-called epoch-wise measurements). Nowadays, information concerning the state of the monitored object should be available at any time (and at any place). In emergency cases, this allows a reaction in near realtime. To ensure continuous measurements the measuring instruments have to stay at the monitoring site and high investment costs are required compared to epoch-wise measurements. Total stations and GNSS receivers are the only possibility to continuously and automatically acquire three-dimensional positions. Up to now, the price of the GNSS receivers forbids their object-wide (e.g. bridges, dam walls, landslides) installation. Due to the fact that low-cost receivers are available, which deliver measurements of high quality, new possibilities arise. Currently, GNSS receivers may be purchased for definitely less than 100 €. If correct evaluation strategies and methods are used, the accuracy level is comparable to the one of expensive geodetic level receivers (Weston & Schwieger 2010).

MONITORING BY GNSS

Since 1970, GNSS have been used for geodetic tasks. At the beginning, exclusively the American Global Positioning System (GPS) was used; meanwhile the Russian GLONASS is completely operable. The European Galileo and the Chinese Compass are currently in development. In the near future, the users may use 4 GNSS comprising more than 100 navigation satellites (e.g. Kleusberg 2010).

Absolute GNSS positioning is not useful for monitoring tasks, since the accuracy available is around some meters RMS. In contradiction, geodetic receivers can deliver positions in the sub-cm level, since they measure relatively using the precise carrier phase as observation. These geodetic receivers were used very early for geodetic monitoring issues. As written before, the development has gone from epoch-wise to continuous measurements. For the latter, GNSS receivers are ideal, since their data acquisition is always continuous and automatic. First experiences were gained by Bäumker & Fitzen (1996). In the sequel a multitude of automated GPS monitoring systems were developed. In addition to measurement and evaluation, the system GOCA comprises communication and deformation analysis (Kälber et al. 2000). Besides, a GPS monitoring system was investigated at TU Graz (Hartinger

2001). In recent years the relevant research came into accelerated motion. Particularly the University of the Armed Force Munich has developed a system based on low-priced Novatel receivers. It has been used for monitoring of landslides in near-realtime (Glabsch et al. 2009). In the following, the authors describe the development and the operation of mass-market GPS receivers within a WLAN ad-hoc monitoring network at IIGS. First results will be presented too.

WLAN AD-HOC MONITORING GNSS NETWORK

Normally, monitoring systems are controlled centrally and a router takes over all tasks as access point. Consequently, data acquisition is controlled by this central station and all clients transmit their data to this central station. This is the typical network structure that is applied within WLAN networks, too. Principally, the nodes within wireless ad-hoc networks are organized in a different way. Hereby the dynamic mesh topology is the central element (Johnson et al. 2007). Each node comprises a router and an antenna and communicates with the nearest neighbor node. This means that any node may serve as access point. Crucial to the monitoring system is the fact that the data can search for their own way through the net, independent from the path. Therefore it is without importance which path the data have taken. Besides, this way is not detectable without an intervention into the network system. As a rule, the communication in ad-hoc networks as well as in centrally controlled networks is based on standards of the Institute of Electronic and Electrical Engineers IEEE802.11X and uses the WLAN frequency 2.4 GHz. The major advantages of the mesh topology are the improved robustness and the increased band width. Both is possible due to the parallel data communication on alternative paths within the network. Consequently, ad-hoc routing algorithms are required. These are the essential base for self-organisation and self-networking of the individual nodes.

In general, the band width is no drawback with respect to monitoring problems, since individual measurement values like inclinations and temperatures or classical geodetic quantities like distances and angles are transmitted. In the case of GNSS the data volume is definitely higher: for each receiver 4.7 kbit/s are transmitted for a sampling rate of 1 Hz. These requirements are fulfilled by the CabLynx Wireless Router that is integrated into an ad-hoc network for recent investigations at the IIGS. The router is used as WLAN router, but has the possibility to realize data transport via UMTS and GPRS, too. Since the network is self-organized, the receiving and the transmitting directions for the data are not known a-priori. Additionally, these directions may change, if e.g. a link is disturbed by external influences. Hence, an omni-directional antenna is required (for the described system the respective antenna of the company VIMCOM is used). The autonomous system is completed for each node by a solar panel, a charge controller, and a battery. The heart of the router are the U-Blox GPS antenna ANN-MS and the newest U-Blox GPS receiver LEA-6T. The LEA-6T delivers GPS raw data like code and phase measurements through a clearly defined interface into a proprietary data format. This is the foundation for the evaluation possibility of the GPS data in the cm-accuracy-level. Fig. 1 shows an overview of the system components, Fig. 2 presents the equipment of one node. The

low-cost GPS antenna was upgraded with a metal shielding (ground plate) to reduce multipath effects.

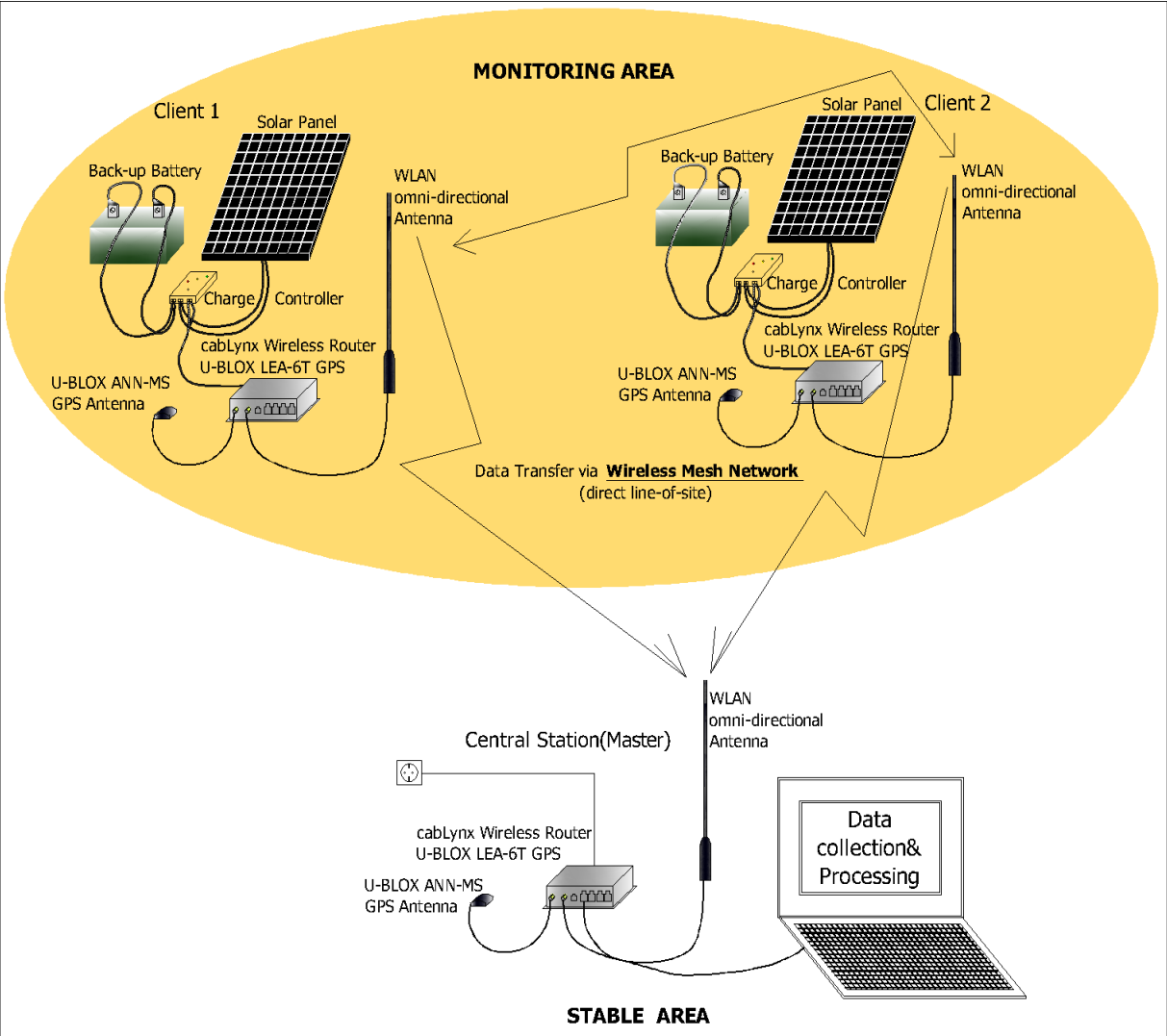


Figure 1: Realised system architecture



Figure 2: Equipment of one autonomous node

Fig. 3 presents the advantages of the dynamic mesh topology using the example of the IIGS GPS monitoring system. Three GPS-equipped nodes were built up. It could be shown that WLAN communication still works for distances longer than 1 km, if the WLAN antennas are installed in a height of approximately 3 m. The acquired data should reach the central station that is responsible for evaluation and analysis. Between client 1 and the central station line-of-sight was not available. Nevertheless all data reached the central station. If now client 2 was shut down and therefore excluded from the network topology, the central station did not get any data from client 1. Hereby two facts could be shown empirically: At first that a disturbed line-of-sight does not permit communication; at second that the mesh topology autonomously finds a suitable alternative.

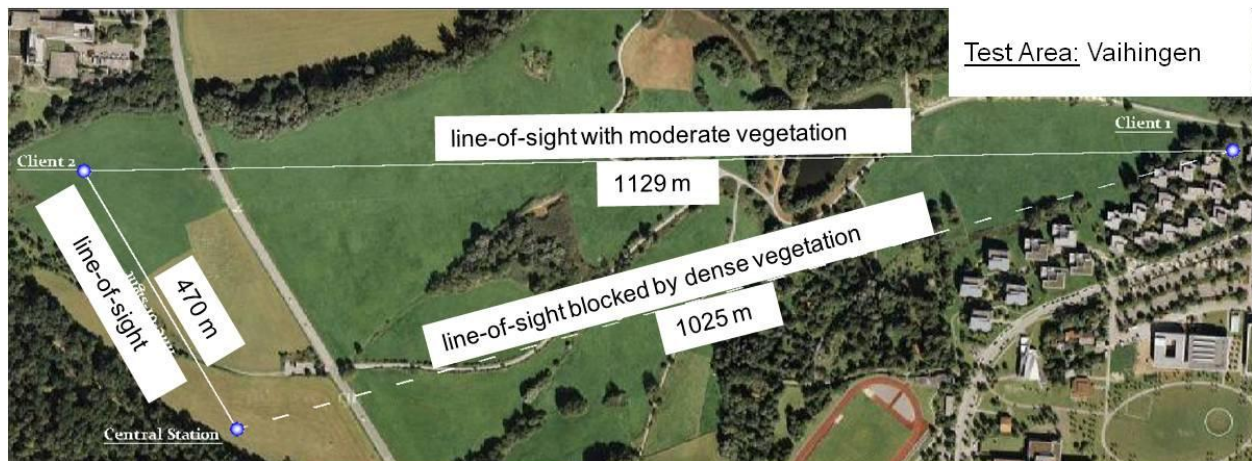


Figure 3: Test area in Stuttgart-Vaihingen

FIRST RESULTS

To evaluate raw data, the following steps of the procedure are realized in the central station (Roman 2011):

- Identification of the node for any data set and generation of node resp. station-related files in proprietary format (own software),
- Generation of files in a defined exchange format (RINEX-Format) per station using the freeware TEQC (TEQC, 2012),
- Determination of relative station co-ordinates with respect to the central using the GPS evaluation software WA1 (WA1, 2012).

Using the example of the measurement configuration shown in the last section (Fig. 3) the accuracy of positioning is determined for different observation time intervals. The co-ordinates of all stations are known at sub-mm-level for evaluation purpose. Two one-hour sessions were measured, meaning that 6 baselines (three-dimensional relative co-ordinates) could be evaluated. First one hour was completely evaluated. Subsequently, the observation interval was reduced in 5 minute steps up to a value of 10 minutes. Fig. 4 presents the repeatability standard deviations for the time spans between 10 and 20 minutes for the baseline between client 1 and the central station. For horizontal co-ordinates standard deviations below 4 mm are reached, independent of the observation time span. The vertical component, the height, leads to a worst three-dimensional standard deviation below 1 cm.

Since the co-ordinates of the individual stations are given with sub-mm accuracy, a measure of accuracy can also be determined with respect to these given co-ordinates. Fig. 5 shows the deviation of the average to the given co-ordinates for all observation time spans for the same baseline. For the north component and the height a marginal dependence from the time span can be seen. The east component shows higher values and no dependence of this sort. Altogether, the deviations stay below 2 cm for the three-dimensional positional deviation. The systematic east deviation may have its cause in the use of non-calibrated antennas. The calibration should improve the results (see e.g. Schwieger & Wanninger 2006).

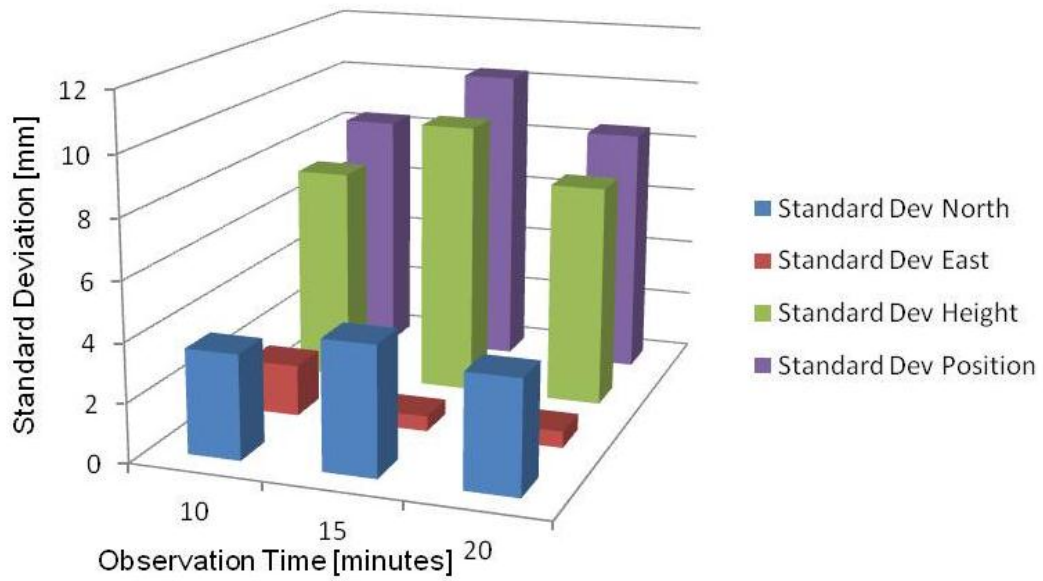


Figure 4: Standard deviations for baseline client 1 – central station in dependency on the observation time span

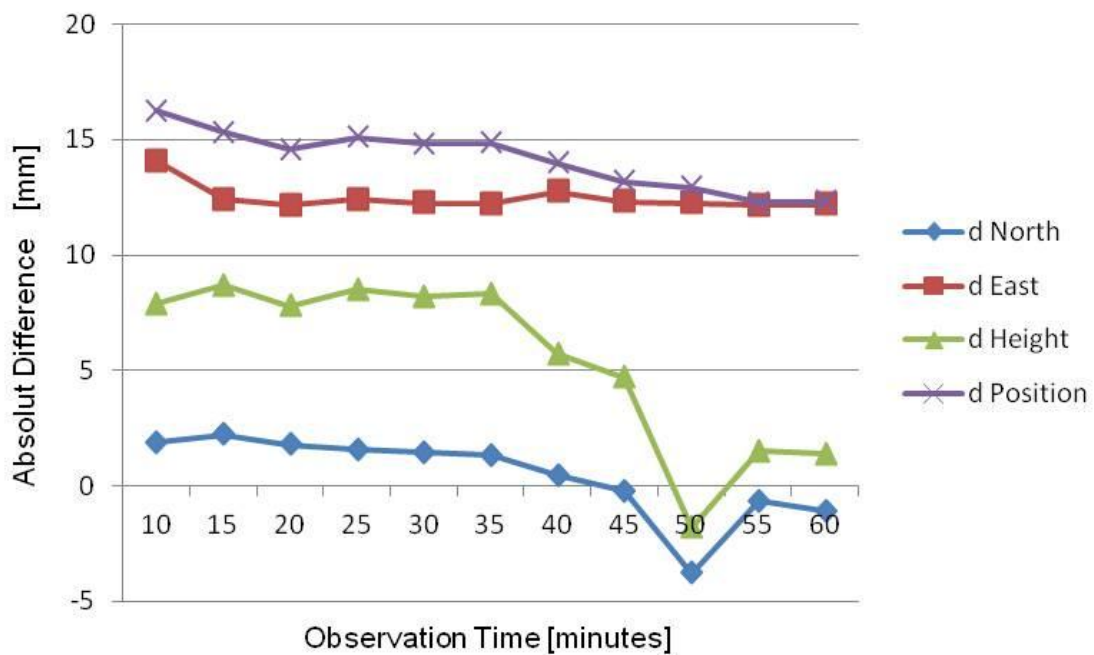


Figure 5: Deviations to given co-ordinates for baseline client 1 – central station in dependency on the observation time span

The discussed results are at the same level for the other baselines not shown in this contribution. Altogether the dependency on observation time span is very small. Obviously it not needed to measure one hour to reach the above-mentioned accuracy. A ten minute time span seems to be sufficient at first glance. The investigations of

Roman (2011) show that one needs 20 minutes for a reliable and automated solution. For shorter time spans manual analysis is required.

Outlook

Up to now the evaluation is realized in post-processing. For the future the evaluation has to be automated to reach near-realtime evaluation. Additionally, a Web-interface should be created to have the possibility to reach the monitoring data from any place in the world. In Zhang et al. (2012) some steps forward are presented. But only when these improvements are completely implemented, the system could be used on a regular base for monitoring surveys.

Furthermore, the accuracy has to be improved. Options for this are antenna-individual calibration, development of an improved antenna shielding and a test of alternative low-cost antennas. The progress into the some-mm accuracy level would prepare the ground towards an area-wide monitoring of landslides or bridges.

The expected improvement of GNSS-signal reception of the receivers – GPS and GLONASS are upgraded by Galileo and Compass – will lead to improved availability and reliability. Nevertheless, one has to consider that GNSS may only be used in environments without or with few shadowing effects. For shadowed objects or object parts complementary sensors like total stations or inclination sensors have to be used.

Remark

The content of this contribution was before published to a large extent in German language in Schwieger & Zhang (2012).

References

1. Bäumker, M., Fitzen, H.P. (1996): Permanente Überwachungsmessungen mit GPS. In: Brandstätter, Brunner, Schelling: Ingenieurvermessung 96 - Beiträge zum XII. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung, Dümmler, Bonn, 1996.
2. Glabsch, J., Heunecke, O., Schuhbäck, S. (2009): Monitoring of the Hornbergl landslide using recently developed low cost GNSS sensor network. Journal of Applied Geodesy, de Gruyter Verlag, Issue 4, 2009.
3. Hartinger, H. (2001): Development of a Continuous Deformation Monitoring System using GPS. Shaker Verlag, Aachen 2001.
4. Johnson, D., Matthee, K., Sokoya, D., Mboweni, L., Makan, A., Kotze, H. (2007): Building a rural wireless mesh network, Version 0.8. Wireless Africa Team of the Meraka Institute, Südafrika, 30. Oktober 2007.
5. Kälber, S., Jäger, R., Schwäble, R. (2000): A GPS based online control and alarm system. GPS Solutions, Vol. 3, Issue 2, 2000.
6. Kleusberg, A. (2010): GNSS – Überblick. In: GNSS 2010 – Vermessung und Navigation im 21. Jahrhundert 100. DVW-Seminar, 04./05. October 2010, Köln, Schriftenreihe des DVW, Vol. 63, Wißner Verlag, Augsburg.
7. Niemeier, W. (2007): Monitoring – was ist der Beitrag der Geodäsie. Ingenieurvermessung 07, Beiträge zum 15. Internationalen Ingenieurvermessungskurs Graz, 2007, Wichmann Verlag, Heidelberg.
8. Roman, M.A. (2011): Commissioning and Investigations regarding a Low-Cost GPS Monitoring System. Master Thesis, Faculty of Geodesy – Technical University of Civil Engineering Bucharest & Institute of Engineering Geodesy – University of Stuttgart (not published).

9. Schwieger, V., Wanninger, L. (2006): Potential von GPS Navigationsempfängern. In: GPS und Galileo. 66. DVW-Seminar, 21./ 22. February 2006, Darmstadt, Schriftenreihe des DVW, Vol. 49, Wißner Verlag, Augsburg, 2006.
10. Schwieger, V., Zhang, L. (2012): Automatisches geodätisches Monitoring mit Low-Cost GNSS. In: Messtechnik im Bauwesen, Wilhelm Ernst & Sohn Special, Berlin, in print.
11. TEQC (2012): <http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>. Last accessed: February 2012.
12. Ubéda, S. (2008): Ad Hoc Networks: Principles and Routing, in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks (ed. H. Labiod), Wiley-ISTE, London, UK.
13. WA1 (2012): <http://www.wasoft.de/wa1/index.html>. Last accessed: February 2012.
14. Welsch, W., Heunecke, O., Kuhlmann, H. (2000): Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen. Vol. 2, Reihe Handbuch Ingenieurgeodäsie, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
15. Weston, N.D., Schwieger, V. (2010): Cost Effective GNSS Positioning Techniques. FIG Publication No 49, FIG Commission 5 Publication. The International Federation of Surveyors, Copenhagen, Denmark.

BIOGRAPHICAL NOTES

Prof. Dr.-Ing. habil. **Volker Schwieger**

1983 – 1989 Studies of Geodesy in Hannover

1989 Dipl.-Ing. Geodesy (University of Hannover)

1998 Dr.-Ing. Geodesy (University of Hannover)

2004 Habilitation (University of Stuttgart)

2010 Professor and Head of Institute of Engineering Geodesy,
University of Stuttgart

Dipl.-Ing. **Li Zhang**

2002 – 2003 Studies of Geodesy in China (University of Wuhan)

2004 – 2009 Studies of Geodesy in Germany (University of Stuttgart)

2009 Research Associate at Institute of Engineering Geodesy,
University of Stuttgart

CONTACTS

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schwieger / Dipl.-Ing. Li Zhang

University of Stuttgart

Institute of Engineering Geodesy

Geschwister-Scholl-Str. 24 D

D-70174 Stuttgart

GERMANY

Tel. + 49/711-685-84040 /-84049

Fax + 49/711-685-84044

Email: volker.schwieger@ingeo.uni-stuttgart.de / li.zhang@ingeo.uni-stuttgart.de

Web site: <http://www.uni-stuttgart.de/ingeo/>

ПРИЧИНЫ УСПЕХА И НЕУДАЧ ПРОЕКТА ГНСС ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Джоел ван Кроненброк

Leica Geosystems AG, Heinrich Wild Strasse – CH 9435, Швейцария, директор отдела развития бизнес-технологий, тел. +32 474 98 61 93, факс: +32 81 41 26 02, e-mail: joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com

Винсент Луи

Leica Geosystems Ltd, Unit 1701-3, DCH Commercial Centre, 25 Westlands Raod, Quarry Bay, Hong Kong, Китай, специалист по техническим вопросам и менеджер по продажам (Гонконг, Тайвань и Монголия), тел: +85-296-848571, e-mail: vincent.lui@leica-geosystems.com.hk

Большинство проектов GNSS Network RTK («ГНСС для работы в режиме реального времени») разрабатывались только с целью сокращения затрат на содержание и обслуживание традиционной геодезической сети, в которой значительная часть бюджета владельца тратилась на содержание опорных реперов. В местах, где отсутствует геодезическая сеть, но ставится задача создания и содержания инфраструктуры пространственных данных, необходимая для управления землей и кадастровыми операциями GNSS Network RTK может оказаться неоценимой.

Авторы руководили разработкой технологии, ее рекламированием, проектированием и внедрением различных инфраструктур позиционирования с использованием GNSS Network RTK в разных странах мира.

В статье рассматриваются причины, которые, по мнению автора, могут сделать проект ГНСС инфраструктуры для позиционирования в режиме реального времени успешным или убыточным.

Есть ли будущее для такой инфраструктуры сети, и каковы должны быть условия для их устойчивости? Какова реальная экономия? Действительно ли продажа поправок является единственным продуктом и насколько пользователи готовы платить за сервис, который бы поставлялся при условии создания собственной ГНСС активно действующей станции?

Рассматриваются вопросы, касающиеся необходимых мер по инвестициям в GNSS Network RTK и изменению конструкции существующей сети, чтобы сделать такую сеть наиболее выгодной.

Ключевые слова: GLONASS, GPS, ГНСС, централизованная обработка данных, поправки RTCM, NTRIP, инфраструктура позиционирования, мониторинг целостности, бизнес, оператор, концессия, маркетинг, управление проектом.

THE REASONS TO SUCCEED AND TO FAIL A GNSS RTK POSITIONING INFRASTRUCTURE PROJECT

Joël van Cranenbroeck

New Business Division of Leica Geosystems AG, Heinrich Wild Strasse – CH 9435 Heerbrugg, Switzerland, Business Technology Manager, tel. +32 474 98 61 93, fax +32 81 41 26 02, e-mail: joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com

Vincent Lui

Leica Geosystems Ltd, Unit 1701-3, DCH Commercial Centre, 25 Westlands Raod, Quarry Bay, Hong Kong SAR China, Technical Specialist Sales Manager (GPS, Engineering Solutions - Hong

Kong, Taiwan & Mongolia Region), tel: +85-296-848571, e-mail: vincent.lui@leica-geosystems.com.hk

Most of the GNSS Network RTK projects have been developed by the economical justification that an active geodetic network would reduce the cost of maintaining a traditional geodetic network where the maintenance of the benchmarks and the control survey were a significant part of the owner's budget. GNSS Network RTK can also be justified where there was no geodetic network to assist the creation and the maintenance of a Spatial Data Infrastructure to support land governance and cadastre operations.

The authors have been in charge of both the development of the technology and also on the promotion, the design and the implementation of numerous GNSS Network RTK positioning infrastructures worldwide.

That paper is dealing with the reasons the author has indentified to make such project a success or a failure.

Is there still a future for such infrastructure and what would be the conditions to make them sustainable? What is the real economy? Is selling corrections the only product and how the users are prepared to pay for a service that could be still delivered by setting up their own local GNSS Base Station?

Those questions will be reviewed to conclude about the possible changes needed to consider still an investment in a GNSS Network RTK of a great value and how re-engineering an existing GNSS Network RTK can be beneficial.

Key words: GLONASS, GPS, GNSS, Centralized Processing, RTK, RTCM corrections, NTRIP, Positioning Infrastructure, Integrity Monitoring, business, operator, concession, marketing, project management.

SUMMARY

Most of the GNSS Network RTK projects have been developed by the economical justification that an active geodetic network would reduce the cost of maintaining a traditional geodetic network where the maintenance of the benchmarks and the control survey were a significant part of the owner's budget.

A GNSS Network RTK can also be justified where there was no geodetic network to assist the creation and the maintenance of a Spatial Data Infrastructure to support land governance and cadastre operations. We also have seen the decision to deploy such technology as part of prestige from governmental organizations but without a clear analysis of user's need and business plan leaving such positioning infrastructure with only few users and a request to re-engineer the approach.

The authors have been in charge of both the development of the technology and also on the promotion, the design and the implementation of numerous GNSS Network RTK positioning infrastructures worldwide. That paper is dealing with the reasons the authors have indentified to make such project a success or a failure.

Is there still a future for such infrastructure and what would be the conditions to make them sustainable? What is the real economy? Is selling corrections the only product and how the users are prepared to pay for a service that could be still delivered by setting up their own local GNSS Base Station? How to deal with the security that most countries are concerned with in term of releasing precise coordinates? Will we be able to cope with the new constellations signals? Is Precise Point Positioning the technology that will make the GNSS Network RTK obsolete?

Where are the hidden costs and how much the communication infrastructure is affecting the operation expensive?

Most of those questions are open and must be reviewed to conclude about the possible changes needed to consider an investment in a GNSS Network RTK of a great value and how optimizing and re-engineering an existing GNSS Network RTK can be carried out and beneficial for the owners of such positioning infrastructure.

INTRODUCTION

A continuously operating GNSS reference station - or permanent reference station as it is often called - comprises a GNSS receiver and antenna set up in a stable manner at a safe location with a reliable power supply. The receiver operates continuously, logging raw data, perhaps also streaming (continuously outputting) raw data, and often outputting RTCM and DGPS data for transmission to RTK, GIS and GPS and GNSS navigation devices. The receiver is usually controlled by a computer that can be located remotely if necessary. The PC will usually download data files at regular intervals and pass them to a bulletin board or web site for access by the GPS user community.

One or more single reference stations supplying GNSS services in the immediate surrounding areas may be all that is required by some organizations. Other authorities, however, may need to establish networks of reference stations - perhaps, 5, 10, 20, 50, or even more - to provide complete GNSS services over entire regions and even countries. A single server running a GNSS reference station software and communicating by telephone, LAN, WAN or Internet can control all the stations in the network (PC's are not required at the receivers). *If required, the entire network can be computed automatically to determine the positions of the antennas and even to derive ionosphere-free area corrections for enhanced RTK performance.*

This brief introduction illustrates that reference stations and networks can vary considerably in extent and complexity.

Organizations that are studying the establishment of reference stations should consider carefully what they will be used for, what services they will have to provide, and what will be the appropriate levels of sophistication and cost.

WHAT ARE GNSS REFERENCE STATIONS USED FOR?

The first reference stations, in the days when GPS was in its infancy, were set up along coastlines to transmit DGPS corrections to improve the accuracy of ship navigation.

Today, with the widespread acceptance of high-precision GNSS measurement techniques, GNSS reference stations are being established all over the world in ever increasing numbers to monitor the earth's crust, to provide geodetic control, to support surveying, engineering, GIS and precise positioning, as well as to monitor natural and man-made structures and to support machine guidance systems in agriculture and construction sites.

Geodetic control for surveying, engineering and GIS

A network of continuously operating GNSS reference stations can easily replace a traditional triangulation/traverse network. The stations can be set up at convenient locations in areas where they are needed (rather than on remote hilltops). Network geometry is not as critical as with traditional networks, and the accuracy is higher and more consistent. Users set up their field receivers in the areas in which they are working, download reference station data via the Internet, and compute their positions. The stations can also transmit RTK and DGPS data for direct use by RTK and GIS field rover equipment.

Such a network can be of almost any size. Whilst one or two stand-alone reference stations may be all that is required for a local area, town and municipality, opencast mine or engineering site, a multi-station network will usually be needed to provide full GNSS service coverage for a large county, region or entire country.

Endless permutations

GNSS reference stations and networks can be used in many ways for many applications.

Stations and networks can be set up and configured for just one particular application and one user group. Or they can be designed to be multi-functional to support a wide range of applications and a multitude of users.

A single reference station may be perfectly sufficient for a small locality. A multi-station, multi-purpose network will often be preferred for an entire region.

The permutations are endless.

POINTS TO TAKE INTO ACCOUNT WHEN DECIDING WHAT TYPE OF STATIONS AND NETWORK ARE NEEDED

GPS reference stations and networks are readily scalable. They can be easily enhanced and upgraded as requirements change and the number of users increases. Thus, initially, it will often be quite sufficient to establish only the stations and services that are really needed.

Afterwards, as the requirements increase, the number of users grows and additional funds are available, new stations and features can be added and the services that are provided can be improved and enlarged.

The initial investment is never lost.

- What is required?
- What applications have to be supported?
- What will the stations and/or network be used for?
- What is needed today?
- What will be needed in future?
- The area to be covered
- Where to establish the stations?
- What can be the separation distance between stations?
- The need for suitable sites with an open view of the sky
- Power, communication, security

- The infrastructure that is readily available and can be used
- The new infrastructure that has to be added
- The type of users that have to be supported
- The number of users that have to be supported
- Is it sufficient simply to log data and provide RINEX files?
- Is it also required to transmit RTK/DGPS data?
- The most suitable methods of communication between the receivers and the server
- The most suitable methods for distributing RTK/DGPS data
- The most suitable communication for distributing RTK/DGPS data
- The cost of establishing the stations and/or network
- The cost of running the stations and/or network
- The running costs for RTK and GIS rovers
- Computing the baselines between stations to check the positions of the antennas
- The budget that is available today
- The budget that will be available in future
- Charging for services and data
- Who is effectively the owner
- Who from the organisation will be effectively in charge of supervising the system
- What is planned for promoting the services
- What is the vision over the next 5 years
- Does a business plan and a financial plan available

CHARGING FOR PRODUCTS SUCH AS RINEX AND RTK/DGNSS DATA.

Reference stations and networks require significant investments.

Running costs, particularly for networks, have to be considered.

Some organizations establish standalone reference stations or networks purely for their own use. Other organizations provide products and services for the GPS user community: they allow access to RINEX files and possibly raw data files on an FTP server, they distribute RTK and DGPS data, and they may even provide transformation parameters in order that RTK and GIS rovers can easily transform WGS84 values into the local coordinate system.

If users of GNSS rover receivers are able to obtain the required data easily and reliably from permanent reference stations, they derive benefits from the services and do not need to invest in additional receivers for use as temporary field references.

Many organizations that operate reference stations and networks are interested in recovering at least part of their investment and covering their running costs. They would like to charge for the data and the services that they provide.

With the advent of new satellite constellations (COMPASS/BEIDOU, GALILEO) provisional budget must be consider to upgrade the installation on both

hardware and software knowing that replacing the most sensitive element – the GNSS antenna – will force for having a new set of very precise coordinates.

ECONOMICAL JUSTIFICATION FOR A GNSS POSITIONING INFRASTRUCTURE

It is well recognized today that a reference network comprised of permanent GNSS stations provides the fundamental infrastructure required to meet the needs of professional GPS users in many areas of surveying and mapping. Examples of applications are found in survey control work, densification of existing geodetic networks, acquisition of data for GIS applications, cadastral operations, determination of fiducial points for photogrammetric work, monitoring of engineering works, mapping of utility corridors, assets, etc. In fact, the number of applications benefiting from the establishment of permanent networks seems to be growing daily.

The widespread use of RTK GNSS and DGNSS techniques has encouraged decision-makers to look for ways to replace traditional geodetic networks with networks of permanent GPS reference stations. For example, a tighter control of the networks can be achieved from the data supplied by permanent reference stations both in post-processing and in real-time. With streaming data, the influence of those spatial and temporal errors affecting GPS measurements can be estimated in real-time. This in turn means the quality of the transmitted corrections is improved and the range of RTK GNSS increased.

CAN THE COSTS ASSOCIATED WITH PERMANENT GNSS NETWORK BE RECOVERED?

The majorities of permanent GPS networks have been, and will continue to be for some time to come, initiatives primarily from government agencies.

These government entities have been able to justify the costs of implementing GPS networks by citing the approach of "preventable costs"; similar to the strategy used to finance the establishment of classical geodetic networks decades earlier. The return on the original investment is not measured in nominal terms of hard revenue but in keeping the costs borne by the industry lower than the alternative. This approach also encourages network standardization and avoids the appearance of a patchwork of private, customized networks for project-specific purposes.

The net result of these free, but limited, services has been to give the user the impression that the distribution of differential GPS corrections should remain free of charge, and that the cost of establishing and maintaining the networks, and providing services should be assumed by the network operators.

This statement is supported by the marked decrease in the number of paying users for the GNSS correction services provided by companies a few years ago. They have since struggled to remain competitive in the face of the U.S. presidential decision to turn off Selective Availability on the GNSS signal.

Even today, agencies are facing an uphill battle in trying to convince potential users to subscribe to their GNSS corrections services. The primary reason is the

disproportionate cost for the offered services with regard to the limited number of customers.

It may be useful to compare our present situation with that of cellular phone service providers several years ago. There is no denying that these companies are now seeing healthy profits from the various levels of wireless service they offer today. However, when the products were first introduced to the public, the companies gambled on the presupposed reliability and variety of services to lure the customers, and offset an often complex and costly infrastructure.

Evidence that their investments paid off can be found in the steady increase in the number of users over the years and the attraction for new service offerings being rolled out on a regular basis. These services are indeed new applications that users have been willing to pay for.

NEED FOR NEW INFORMATION BROADCAST SERVICE BASED ON GNSS NETWORK

This is not wishful thinking resulting from our infatuation with communication technologies, but truly an achievable goal. Decision-makers wish to control the quality of services based on the type of products their networks provide.

They are also committed to providing GNSS network solutions in the appropriate reference system. Coordinate transformations should not be seen purely as side products: the very purpose of permanent GPS networks is to offer a complete integrated datum-consistent solution. To those who argue that the transformation algorithms could be integrated into the rover units, and that a certain level of control can be achieved by forcing the user to calibrate his system on existing control points; we answer that in doing so, we have eschewed our responsibility for providing a complete solution.

We must add also that the software applications used to manage permanent GPS networks could, and even should, incorporate functions to monitor usage and/or charge users for services.

Provider companies have already begun to integrate user monitoring applications into their software products by including the display of user positions, recording the number of requests for specific services, and generating statistical information that form the basis for charging users.

This type of functionality is now considered essential by the GNSS Network operators giving them the ability to exercise control over their networks in order to enhance the value of their services.

The subject of increased data integrity is then creating considerable interest among GPS network operators. What if they could provide a service that bypassed the problems that users routinely encounter in processing their own data?

A reliable network service providing high-quality and high-fidelity solutions would no doubt generate significant revenue.

TO SUCCEED OR TO FAIL WITH A GNSS NETWORK PROJECT

All the previous considerations should however not hide the scope of this paper concerning the way to succeed or to fail a GNSS Network RTK project.

There is a clear indicator to measure the success or the failure of a GNSS Network project and that is the number of users actually connected to the services. Being setup as a free of charge or pay service, the number of users must generally be greater than 10 by GNSS Reference Station. For a GNSS Network of let's say 25 GNSS Reference Stations, the operator should question himself is the number of users is less than 250 while networks of 100 stations actually are not far to support 2500 users.

And with new interest of the non surveying communities such farmers and contractors it's clear that that rule of thumb must be adapted and reviewed.

If we often prefer to listen about the success, it's also in our human nature to learn by our mistakes and failures and the case of a GNSS Network does not differ than any other project with some specifics that must be carefully considered.

The most important is to remind the sentence that "how a project starts, a project ends". If a GNSS Network starts without serious investigation on user's needs and expected services delivered in term of accuracy and availability, reliability and format, it will fail. If a GNSS Network starts without reviewing and consulting with all the potential users, it will fail. Marketing is certainly important and no one will be surprised to assist a failure when few people were aware about the proposed services.

What do you mean by infrastructure?

We often refer a GNSS Network RTK as a positioning infrastructure while in general the services delivered are mainly RINEX files, corrections streams and centralized post-processing facility. Except for that last case, a GNSS Network RTK is not delivering the user's position. In Japan and in Germany there are GNSS Network RTK operators that allow the use of a Client Server RTK service where the users are streaming their rover observations to a central site and from where they get their positions processed centrally in real time.

If we compare a GNSS Network RTK with a well known communication infrastructure such a high way we could say that the road and toll gates are what we have with the system. Services can complement such gas station and shopping centre, recreational area and at first for sure emergency services, police and rescue.

That doesn't mean that the high way owner will prevent any driver to eventually crash his car or to cause an accident. The drivers are fully responsible about the way they drive. Education and sanction for strange behaviour and high speed are often used to prevent accidents but again at the end the driver is alone.

In our case, the driver is the GNSS rover user and he should first know how to use his equipment at its best, understanding that a minimum number of satellites must be in view and that the configuration (GDOP) is a key success factor.

The highway authority is our GNSS Network RTK operator and is responsible for delivering on real time the best corrections, integrity and availability. Communication is the most sensitive factor for both player and we can in our example assimilate the communication with the weather conditions if the telecommunication partner is not under control or not integrated as partner. While weather (ionosphere) can certainly also be a disturbing factor especially when we reach a peak in the solar activity which is the case today.

Also it is becoming a good practice for a GNSS Network operator to deploy several permanent rover RTK in order to monitor exactly as the users the performances of the system otherwise discussions will flow in and out about who is right and wrong.

Normally any kind of vehicles are allowed on a high way and that must be the rule here as well. Often the GNSS Network RTK infrastructure supports any brand of GNSS RTK rover by distributing standard formats such RINEX, RTCM and NTRIP protocol. But that must be explained and there is a great benefit for the GNSS Network RTK owner to deliver extensive documentation for the potential new user.

Too many times we have questions about how the existing equipment is compatible or not...

Pre-analysis, investigation and market research

That is the starting point and methods exist to not only put in face what will be available in term of service and what kind of different classes of users will be served.

That is often an easy mistake to start from the today capacity of a GNSS Network RTK in term of functionalities to derive the expected target community. That will not make the infrastructure evaluating over the time.

The right way is to question all the organisations and individual about their need in term of positioning. Accuracy, reliability, availability, cost, charging mechanism, rover equipment needed with the associated communication device and the transmission services are several of the questions that helps to drive the preliminaries.

Then a map can be drawn and at the start the future owner will have an idea about the number of potential users and what the functionalities he has to consider satisfying the needs.

Unfortunately we know cases where that analysis has not carried out properly and when the project is released there is a big disappointment when the potential users seem not interested by the services and are still considering setup their own local GNSS Reference Station.

It may be helpful to ask the support from consultants or from other organisations that did such projects successfully. The role of a consultant is critical for building a complex infrastructure so why not to consider?

Normally at that stage a business plan, a financial plan and the business model(s) must be drafted and regularly reviewed.

The network operator is not necessarily the owner

Organisations traditionally in charge of geodetic operations are often responsible for studying and deploying GNSS Networks to turn their geodetic passive network into an active one. Most of the time and by nature (governmental agencies) those organisations are not business or profit oriented and should consider in the operations a tier operator who will be responsible for making the services profitable.

We have seen cases where even the system provider or telecommunication partner has been charged for the operations and for charging the services or simply to deliver the subscriptions.

The idea to place the infrastructure for concession should be considered when the owner doesn't have experience and capacity for charging and managing the revenue of the services.

It's all about marketing

Questions rose also about how to target more users. We know projects where after several years of operation, responsible asks us how to bring more users connecting to the system.

There are professional organisations that should be informed and most probably have some interest that their members are part of the user community.

We never waste our time to educate people and to teach them what exactly the system will deliver in term of benefit and also what the system will never be able at that present time to deliver.

In some place there is an annual meeting with all the users to review the services and to derive where improvements are requested and what kind of new services will be appreciated to leverage the number of users.

When users are happy with the services it's also good marketing to let them share their experiences with new coming members.

The most common reasons to fail

If we cannot list in that paper all the reasons such project will with a great probability encounter some failures there are however several points that are very sensitive

- Communications is one of the major reasons. The users complain that they cannot get the corrections all the time leading them to discouragement and lost in efficiency on the field. If not addressed properly on timely manner, such users will consider to setup back their own local GNSS Reference Station. But communication problem can also be on the infrastructure side where regularly several GNSS Reference Stations are not streaming their raw data.

- Improper coordinates is another reason to fail. Not only must the coordinates of all the GNSS Reference Stations be accurately determined in the same reference frame that the satellites precise orbits are but the transformation from that reference frame to the local grid coordinate system must be accurately addressed as well. We do know GNSS Network RTK where there is no user just because the coordinates that they can derive don't match with the geodetic control points.

- Who is operator? If the organisation in charge of delivering the associated services of a GNSS Network RTK infrastructure doesn't have 24/7 a call centre with an expert reaction to address the user's issues or to repair the system in case of down operations, the project will fail. Often there is not enough man power allocated to the project and if there is only one champion he will quickly burn out especially with success and more and more users. The people who are installing and serving the system must have a deep knowledge on the GNSS technology, communication, IT infrastructure, on site intervention etc. Last no least, we have also seen unfortunately organisation where the initiator left by leaving no one capable to take over. In that case all the investment is fading away.

– Charging too much or just for free. Organisations that has no confidence in the deliveries or organisations who most of the time don't want to take responsibility, will offer the service for free with the net result that if something is going wrong, after all no one is paying for the service when it works. On the other side, charging too much will prevent people to consider the costs if they exceed what they can manage themselves by using a local GNSS Reference Station setup.

The reasons to succeed

The good news is that there are also reasons to succeed and we would like to summarise what we have identified as key factors for successful projects.

The main reason to succeed is to have a deep understanding about the need to have such infrastructure and associated services.

Often no people are questioning about the importance to have a proper geodetic frame especially when GIS is part of the main activity of the organisation. Coordinates are just vital to carry the information. But traditionally the geodetic points were delivering for a small amount of money hidden by the public investment to maintain the geodetic network.

When the users are adopting massively GNSS RTK technique to provide positioning, the need is there because potential users are already looking for lowering costs, improving the quality and efficiency.

In general the reasons to succeed are found in a careful deployment of the GNSS Network RTK and the associated services. The so called “hotspot” strategy is paying off most of the time. Looking to serve first the community of users who are interested by the services will lead the organisation to phase its services.

The second reason to succeed is to plan for the success with business plan, financial plan, various business models and long term vision. Having an infrastructure where every user is “connected” must leverage the interest to provide much more services. After all, the communication is established and it would be a shame to leave it without taking the opportunity to use the “carrier” to provide much more than just the corrections.

The third reason is to correctly lead the project (previous proper planning will prevent piss poor performances) and to have competent people and common goals. Again there is nothing new as any project success is based on those remarks. But we are often surprised to see that such common senses are not necessarily present everywhere.

Finally the success of such project is reflecting how performing an organisation is managing successfully other projects.

There is no question about the need for such infrastructure today and in the future as every place with an intense economical activity that needs positioning, a GNSS Network RTK will be just what is needed. Every city, airport, harbour, region, country will face that needs anyway. Our civilisation is digital and we are looking for being ubiquitous in our social transaction.

The responsible for setting up and maintaining GNSS Network RTK infrastructures will have to follow up also the technology and have a critical review.

Today the academics are bringing PPP (Precise Point Positioning) as a panacea to suggest that such infrastructure may become obsolete.

Also with the advent of new satellite constellations it has been quoted that the distance between the GNSS Reference Stations will become greater than the recommended 80-100 km in medium latitude areas while actually no one can still get access to those future signals. However 20 years ago, no one would have even imagined running GPS in real time mode over long distance. Communications were radio based and even Internet was not considered as a data streaming media.

At the end of the day, that is the user's new applications and challenges that will decide the operators to implement more sophistication, while on the other side staying close to the research world is definitively the place to anticipate the future.

CONCLUSIONS

After having been technology driven from the last decade to convince large organisations to consider the deployment of GNSS Network and with the soon coming new GNSS constellations such COMPASS/BEIDOU and GALILEO, questions are raised about how finally justify the costs of such positioning infrastructure and eventually to make them profitable.

The crucial question is however how to make such project successful?

There is no doubt that in that paper the authors are just questioning the matter and they will continue to elaborate on that topic based on their quite unique and extensive experience in other publications.

Projects are the fact and based on people and organisation and we may not wonder that rules exist to make them successful or failure. Common sense are often neglected when people are blind by technology and forget finally that a solution is an answer to a problem or a need that must be clearly expressed and declined in term of expecting functionalities.

The good news is that any of such projects can be re-analysed and re-engineered to turn eventually any issue or failure into success.

The authors will warmly welcome any remark, experience; question and request related to that sensitive topic and would be pleased to contribute to any project confronted with questions raised in their paper.

BIOGRAPHICAL NOTES

Joël van Cranenbroeck is currently Business Technology Manager at Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland. He led the development of hardware and software solutions for GNSS Network-RTK since 2001 and made significant contributions in geodetic monitoring development and applications such as the method for aligning high rise structures (such as the Burj Dubai). Joel is Chair of Working Group 6.2 in FIG Commission 6, awarded in 2009 the title of Honored Lecturer of the Siberian State Academy of Geodesy in Novosibirsk, and senior scientist consultant for two universities in Belgium. He designed numerous projects for structural monitoring applications such as bridges, dams, tunnels, etc. He worked at the Belgian Cadastre organization, at the Geodetic Department of the Belgian National Geographical Institute and in Star Informatic – GIS software based Belgian

company – before he joined Van Hopplynus, the Leica Geosystems exclusive representative in Belgium in 1993 as product specialist in GPS, GIS, Engineering and Industrial applications.

Vincent Lui is Sales Manager and Technical Specialist at Leica Geosystems Hong Kong office, in charge of GNSS products, GNSS network system and engineering solution including structural deformation monitoring for Hong Kong, Macau, Taiwan and Mongolia. Vincent is currently developing a GNSS network infrastructure and a number of positioning services and systems in Hong Kong that serve for many applications including deformation monitoring in the area of subsidence, landslide, bridge, water dam and high-rise building.

He has over 17 years of experience in the field of GNSS, navigation, reference station infrastructure and tunnel & subsidence monitoring in Hong Kong and China.

CONTACTS

Joël van Cranenbroeck

Business Technology Manager
New Business Division - Leica Geosystems AG
Heinrich Wild Strasse
CH-9435 Heerbrugg
Switzerland
Mobile : +32 474 98 61 93
Email: joel.vancranenbroeck@leica-geosystems.com
Web site: www.leica-geosystems.com

Vincent Lui

Leica Geosystems Ltd
Unit 1701-3, DCH Commercial Centre,
25, Westlands Road, Quarry Bay,
Hong Kong SAR
China
Tel. +852-2161-3882
Mobile: +852-9684-8571
Email: vincent.lui@leica-geosystems.com.hk

© Joël van Cranenbroeck, Vincent Lui, 2012

ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ RIEGL VMX-450 ДЛЯ СЪЕМКИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Иво Милев

technet-rail 2010 GmbH, Берлинский университет прикладных наук им. Бойта, Германия, Goethestr. 42, 10625 Berlin, доктор наук, генеральный директор, тел: +49 (0)30 5484 0785, факс: +49 (0)30 5482 6798, моб: +49(0)1772276273, email: ivo.milev@technet-rail.de

Николаас Штудницка

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Austria, Riedenburgstraße 48, 3580 Horn, магистр наук в области коммуникации и СВЧ техники, менеджер по коммерческому развитию и международным продажам, тел. +43 2982 4211, факс: +43 2982 4210, e-mail: nstudnicka@riegl.co.at

Геральд Зах

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstraße 48, 3580 Horn, Austria, менеджер по продукции, мобильному лазерному сканированию, тел. +43 2982 4211, факс: +43 2982 4210, e-mail: gzach@riegl.co.at

Последние годы мобильное лазерное сканирование стали использовать в разных областях. Основное его назначение – определение маршрутов движения железнодорожного и автомобильного транспорта.

В ноябре 2011 был реализован совместный проект фирм RIEGL LMS GmbH, Deutsche Bahn Netz AG и technet-rail 2010 GmbH на трассе Франкфурт-на-Майне - Германия. Для работы использовалась мобильная сканирующая система RIEGL VMX-250 [RIEGL2012], установленная на дрезине, для съемки всего железнодорожного полотна, рельсов, линий передач и соседние рельсовые пути.

Поперечно расположенный лазер системы RIEGL VMX-250 позволяет обнаруживать тонкие объекты, даже если они расположены перпендикулярно направлению пути.

Анализ данных выполнялся с помощью специального ПО фирмы technet-rail 2010 GmbH. Программы позволяют преобразование 3D геоданных в систему координат рельсовых путей Deutsche Bahn AG с помощью существующих данных о маршруте. Здесь нет необходимости в контрольных точках. Для этих целей есть широкий набор данных: контроль на отсутствие столкновений, допуск и другие данные, которые делают систему более производительной.

Ключевые слова: mobile laser scanning, эксплуатация железной дороги, створ, инженерная геодезия, Европейская норма.

RAIL INFRASTRUCTURE MEASUREMENT SYSTEM BASED ON RIEGL VMX-450 MLS

Ivo Milev

technet-rail 2010 GmbH, Beuth University of Applied Science Berlin, Germany, Goethestr. 42, 10625 Berlin, Dr., Managing Director, tel: +49 (0)30 5484 0785, fax: +49 (0)30 5482 6798, Mobile: +49(0)1772276273, email: ivo.milev@technet-rail.de

Nikolaus Studnicka

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstraße 48, 3580 Horn, Austria, Master degree on communications and radio-frequency engineering, Business Development Manager, International Sales, tel. +43 2982 4211, fax +43 2982 4210, e-mail: nstudnicka@riegl.co.at

Gerald Zach

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Austria, Riedenburgstraße 48, 3580 Horn, K.T.H.,
Product Manager, Mobile Laser Scanning, tel. +43 2982 4211, fax +43 2982 4210, e-mail:
gzach@riegl.co.at

Looking on the last years back the usage of mobile laser scanning has risen up in several fields. The main scope of mobile laser scanning is the detection of traffic routes such as road- and railway-networks.

In November 2011 a project was realised as cooperation of RIEGL LMS GmbH, Deutsche Bahn Netz AG and technet-rail 2010 GmbH near Frankfurt/Main - Germany.

By using the RIEGL VMX-250 System [RIEGL2012] at railcar the complete rail embankment, the rails itself and the power lines were captured. The detection covered even the neighbourhood tracks.

The crossed placed laser of RIEGL VMX-250 System enables the detection of thin objects even in perpendicular adjustment to track direction.

The analysis of data was realised with rail specific software of technet-rail. The programs enable exact transformation of geodetic 3D data sets into rail-coordinate system of Deutsche Bahn AG with the help of existing track data. Own measured control points are unnecessary. With wide range of rail orientated functions such as collision test, clearance- and rail based-measurements the system enables a productive instrument, designed for permanent use.

Key words: mobile laser scanning, railway maintenance, alignment, engineering surveying, European norm.

Zusammenfassung

Mobiles Laser Scanning von land- und wassergebundenen Fahrzeugen erlebte in den letzten Jahren einen rasanten Aufschwung in den verschiedensten Anwendungsgebieten. Dazu zählen unter anderem Vermessung von Autobahnen, Straßen, Schienenwegen und Städteräumen sowie Küstengebieten und Häfen.

Im November 2011 fand in Kooperation zwischen *RIEGL* LMS GmbH, Deutsche Bahn Netz AG und technet-rail 2010 GmbH ein Projekt beim Hauptbahnhof Frankfurt statt. Ziel war es, den Schienenraum mit modernster mobiler Laser Scanning Technologie von einem fahrenden Eisenbahnwaggon aus zu vermessen. Es konnte gezeigt werden, dass mit dem eingesetzten *RIEGL* VMX-250 System [RIEGL2012], nicht nur die Gleiskörper selbst sondern auch Oberleitungen und Nachbargleise präzise und zuverlässig vermessen werden können. Die kreuzweise Anordnung der beiden voll integrierten Laser Scanner ermöglicht außerdem die Erfassung von senkrecht zur Fahrtrichtung stehenden Schildern.

Bahnspezifische Software der Firma technet-rail ermöglicht in der Weiterverarbeitung der Scandaten eine exakte automatische Überführung des 3D-Datensatzes aus geodätischen Koordinaten ins Gleis-Koordinatensystem der Deutschen Bahn mithilfe von Soll-Trassen-Daten, ohne eigens vermessene Kontrollpunkte zu benötigen. Im Zusammenspiel mit weiteren Funktionen, wie achsbasierten Messungen zu ausgewählten Objekten oder einem Kollisionstest mit frei definierbarem und geschwindigkeitsabhängigem Lichtraumrahmen, eignet sich das Gesamtsystem für den produktiven Dauereinsatz im Eisenbahnwesen.

1. Das System

Der Vorteil der kompakten Bauweise und der leichten Transportierbarkeit des Laser Scanning Systems *RIEGL VMX[®]-250* System ermöglicht die Montage auf einem Standard-Gleisarbeitsfahrzeug der Deutschen Bahn (DB) „GAF 100“ [WIKIPEDIA 2012] mit Ladekran (siehe Abbildung 1). Das Scanning System besteht aus zwei *RIEGL VQ-250* Laser Scannern, die gemeinsam 600.000 Messungen pro Sekunde nach dem Impuls-Laufzeit durchführen, und einer IMU/GNSS-Einheit. Die starre Kopplung der Komponenten erlaubt eine stabile Kalibrierung des Gesamtsystems ab Werk. Das System wird auf eine Trägerplattform montiert, welche auch das modulare Kamera-Subsystem VMX-250-CS6 unterstützt.

Mit einem einzelnen Kabel wird das System mit der Kontrolleinheit verbunden, welche sich bei dieser Anwendung gemeinsam mit Stromgenerator, Netzteil, Backup-Batterie und Traversengestell auf der Ladefläche des Waggons befand. Die Stromversorgung des Systems gestaltete sich völlig autark und war somit unabhängig vom Bordnetz des Gleisfahrzeuges. Der Kontrolleinheit-Koffer selbst beinhaltet u.a. erforderliche Spannungskonverter, einen Computer mit der Software *RiACQUIRE* für die Datenaufnahme, mehrere Wechselfestplatten, sowie einen Touchscreen für den Operator. Da der Aufenthalt von Personen auf dem Waggon während der Fahrt untersagt ist, wurde das System bei diesem Einsatz via Ethernet (LAN) Datenschnittstelle aus dem Führerstand ferngesteuert. Für die gesamte Vermessungsfahrt waren also nur zwei Personen notwendig: der Lokführer und ein Operator. Eine GPS Basisstation kam direkt beim Ausgangspunkt zum Einsatz.



Abb. 1: Laser Scanning System *RIEGL VMX[®]-250* System auf einem Gleisarbeitsfahrzeug der Deutschen Bahn „GAF 100“ mit Ladekran.

2. Datenaufnahme

Nachdem das System in einem 1,5-stündigen Aufbau auf dem Waggon montiert worden war, wurden die vier kalibrierten 5-Megapixel Kameras den Projektanforderungen entsprechend positioniert und optimal eingestellt. Die Parametrierung erfolgte in der Weise, dass alle 10 Meter Bilder zeitsynchron von allen vier Kameras ausgelöst wurden.

Die Vermessungsstrecke wurde zulassungsbedingt mit einer Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h befahren. Da die Vermessungsfahrt zwischen dem fahrplanmäßigen Betrieb der DB stattfand, mussten immer wieder Gleisfreigaben abgewartet werden, was zu Fahrtunterbrechungen führte. Durch

Befahrung mehrerer paralleler Gleise wurden vom gesamten Streckenabschnitt mit einer Ausdehnung von ca. 5 km in einer Fahrstunde 10 GByte Scandaten und 26 GByte Bilddaten vom *RIEGL* VMX-250 aufgenommen. Die Dichte der resultierenden Punktwolke beläuft sich nahe den Geleisen auf etwa 3.600 Punkte pro Quadratmeter.

Um die Qualität und Vollständigkeit der Aufnahmen zu evaluieren, wurden die Daten, wie im anschließenden Kapitel beschrieben, noch vor Ort prozessiert und als Punktwolke farbcodiert mit den entfernungsunabhängigen relativen Reflexionswerten (engl.: Reflectance) visualisiert (siehe Abbildung 2).

3. Prozessierung der Punktwolke

Nach erfolgreichem Abschluss der Vermessungsfahrt wurde umgehend mit der Prozessierung der erfassten Daten begonnen. Noch während der Abbauarbeiten des Systems vom Eisenbahnwaggon wurden die Daten der vor Vermessungsbeginn fix auf einem Dreibeinstativ platzierten mobilen GPS-Basisstation ausgelesen. Beim Laptop handelte es sich um denselben, mit dem auch das System während der Vermessungsfahrt fernbedient wurde. Innerhalb weniger Minuten wurde auch das *RiACQUIRE*-Projekt mit den aufgezeichneten Rohdaten von den Wechselfestplatten der Kontrolleinheit auf diesen Laptop übertragen.

Innerhalb von weiteren fünf Minuten wurde das Post-Prozessieren der Trajektorie unter Verwendung der Korrekturdaten (nach Konversion ins *RINEX*-Format) und Anwenden der genauen geodätischen Koordinaten, über denen der mobile Basisstations-Empfänger aufgestellt gewesen war, abgeschlossen. Obwohl GPS- und GLONASS-Observationen aufgezeichnet worden sind, wurde nur vom erstgenannten Set an Satelliten Gebrauch gemacht. Das *RiACQUIRE*-Projekt kann für die weitere Prozessierung der Scan- und Bilddaten ohne jegliche Konvertierung direkt von *RiPROCESS* geöffnet werden. Im nächsten Schritt wurde die post-prozessierte Trajektorie ins Projekt importiert und die Berechnung der gesamten Punktwolke, die sich aus knapp einer Milliarde 3D-Messpunkte zusammensetzt, mit dem „Scan Data Processing Wizard“ gestartet. Dieser selbständig ablaufende Vorgang war in knapp einer halben Stunde abgeschlossen.

Ein erster Blick auf das Ergebnis zeigte schon vor Ort die Vorzüge des Messsystems und der eingesetzten Laserscanner-Technologie (siehe Abbildung 3). Beispielsweise sind die glatt-geschliffenen Schienenköpfe von beiden Laserscannern erfasst worden und deren Punktwolken nahezu deckungsgleich.

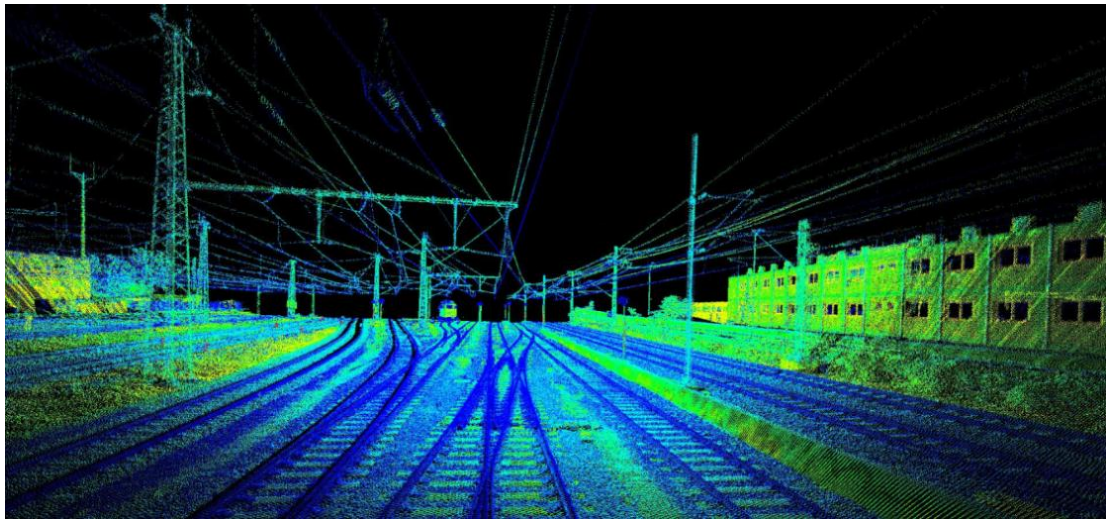


Abb. 2: Farbcodierte 3D Punktwolke. Die Farbe repräsentiert den entfernungsunabhängigen relativen Reflexionsgrad der jeweiligen Zieloberfläche.

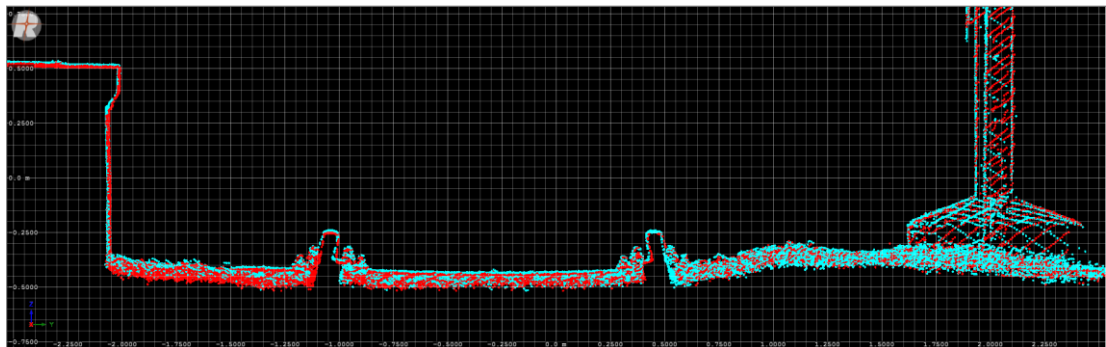


Abb. 3: Exakte Kalibrierung der Laserscanner zueinander (Scanner 1 rot, Scanner 2 cyan) ersichtlich im Querschnitt durch die Punktwolke mit (von links) Bahnsteig, Gleiskörper und Oberleitungsmast.

Letzteres zeigt die Qualität der permanenten Systemkalibrierung. Diese gewährleistet auch nach Transport bzw. Montage/Demontage des Systems einwandfreie Ergebnisse ohne Nachkalibrierungsarbeiten. Oberleitungsdrähte, Nachbargleiskörper und Details an Signalen sowie weiterer Eisenbahninfrastruktur sind mit hohem Detailgrad wiedererkennbar (siehe Abbildung 4).

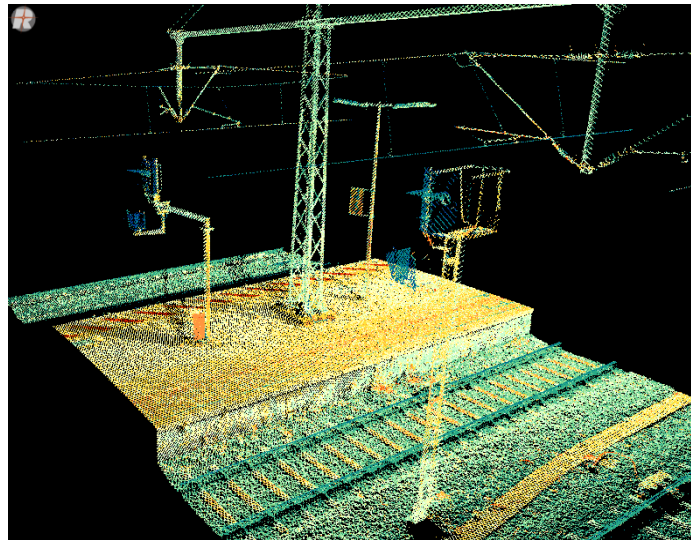


Abb. 4: Detailgetreue Wiedergabe der Bahn-Infrastruktur in der Punktwolke.

Lediglich geringfügige Diskrepanzen in der Größenordnung von wenigen Millimetern sind an manchen Stellen zu erkennen, wo sich Kurswinkel-Fehler auswirken. Grund dafür ist die kreuzweise Anordnung der Scanner, welche zwar einerseits die Erfassung von senkrecht zur Fahrtrichtung stehenden Schildern ermöglicht, andererseits aber auch impliziert, dass dasselbe entfernte Zielobjekt von beiden Scannern zu unterschiedlichen Zeitpunkten wahrgenommen wird. Trajektorie-bedingte Fehler, die sich über der Zeit verändern, kommen dadurch zur Geltung. Hauptursache dieser Fehlerquelle sind vorwiegend Limitierungen durch die GPS-Genauigkeit sowie Ausbreitungseffekte der Satellitensignale. Für den Fall, dass Daten von derselben Strecke durch mehrfache Befahrung aufgenommen werden, treten dadurch auch hier im Allgemeinen Differenzen zwischen den einzelnen Punktwolken zum Vorschein.

Um Punktwolken aus mehreren Fahrten dennoch zur Deckung zu bringen, stehen dafür Werkzeuge in RiPROCESS zur Verfügung. Damit lassen sich Trajektorie-bedingte Einflüsse durch Auffinden von korrespondierenden Flächen-Beobachtungen korrigieren. Wie häufig bei Projekten im Straßenverkehrswesen und Tunnelbau angewendet, könnten an dieser Stelle zusätzlich Kontrollpunkte zur exakten lokalen Georeferenzierung verwendet werden.

Dank dem Zusammenspiel von, im Wesentlichen, guter Sicht zu GPS Satelliten, den präzisen Laserentfernungsmessungen und der Kalibrierung der Systemkomponenten musste an dieser Stelle aber nicht auf diese weiteren Werkzeuge zurückgegriffen werden. Wie sich bei dieser Anwendung zeigte, verursachen Oberleitungsdrähte, wenn überhaupt, nur vernachlässigbare Mehrwegeausbreitungseffekte der GPS-Satellitensignale. Auch ist eine exakte lokale Georeferenzierung über Kontrollpunkte nicht notwendig, wie durch die Soll-Ist-Trassenkorrektur im nächsten Abschnitt hervorgehen wird.

Somit kann die Punktwolke zwecks Datenaustauschs ohne weitere Bearbeitungsschritte direkt ins LAS-Format exportiert werden. Der Exportvorgang war für die komplette Datenmenge des gegenständlichen Projekts innerhalb von 10 Minuten abgeschlossen. Zur exemplarischen Weiterverarbeitung wurde lediglich

ein Teilstück um die Station Griesheim mit der Länge von 0,6 km ausgewählt. Dieses Teilstück enthält etwa 26 Millionen Messpunkte, was einer Rohdatenmenge von 0,5 GByte Scandaten und 1,5 GByte Bilddaten entspricht.

4. Der Weg ins Koordinatensystem der Bahn

4.1 Extraktion der Ist-Gleisachse aus der Punktwolke

Mit der Software SiRailScan der Firma technet-rail kann die Ist-Gleisachse anhand der Punktwolke ermittelt werden. Bezugselement sind hierbei die beiden Schienen der zu bearbeitenden Strecke, wobei die Gleisachse als Mittelpunkt der Spurweite (engl.: track gauge) zwischen den Schienen definiert ist (siehe Abbildung 5) (LINDAHL 2001).

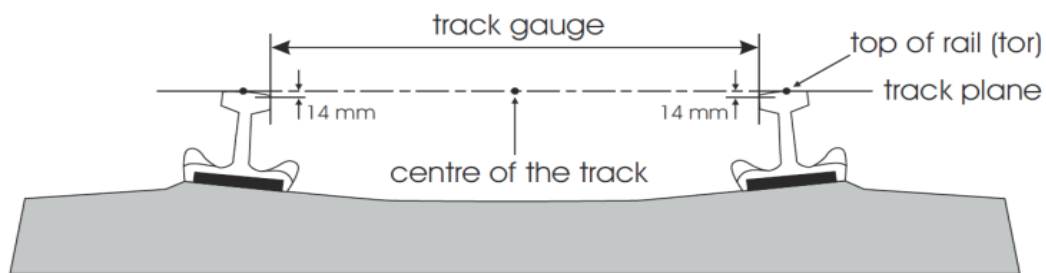


Abb. 5: Definition der Gleisachse über die Extraktion der Schienenkopf-Oberseite

Die Achsbestimmung erfolgt in zwei Genauigkeitsstufen, welche sich aus den verwendeten Linien, die die Schienen repräsentieren, ergeben:

1. Bestimmung der Gleisachse anhand der detektierten Schienenkopf-Oberseite (niedere Genauigkeit).
2. Bestimmung der Gleisachse anhand der modellierten inneren Schienenoberkanten (höchste Genauigkeit).

Bei der Anwendung der Methode mit höchster Genauigkeit (Methode 2) muss die Achse bereits näherungsweise vorliegen, beispielsweise aus den detektierten Schienenoberseiten (Methode 1). Nach Auswahl eines Startpunktes, auch differentieller Anschlusspunkt genannt, erfolgt in einem voll-automatischen Ablauf die Detektion jener Punkte, die die Schienenoberseite repräsentieren (siehe Abbildung 6).

In die selektierten Punkte des Schienenkopfes wird zunächst eine Polylinie geschätzt, die dann im zweiten Schritt dazu verwendet wird, das bekannte Profil der Schiene möglichst genau in die Punkte einzupassen. Davon abgeleitet lässt sich nun die innere Schienenoberkante mit hoher Genauigkeit bestimmen. Sobald beide Schienen modelliert sind, kann die Achse des Schienenstrangs berechnet werden, womit die Repräsentation durch die Ist-Gleisachse gegeben ist. Dieser Modellierungsvorgang genügt den Regeln der Mathematik der fahrdynamischen Trassierung.

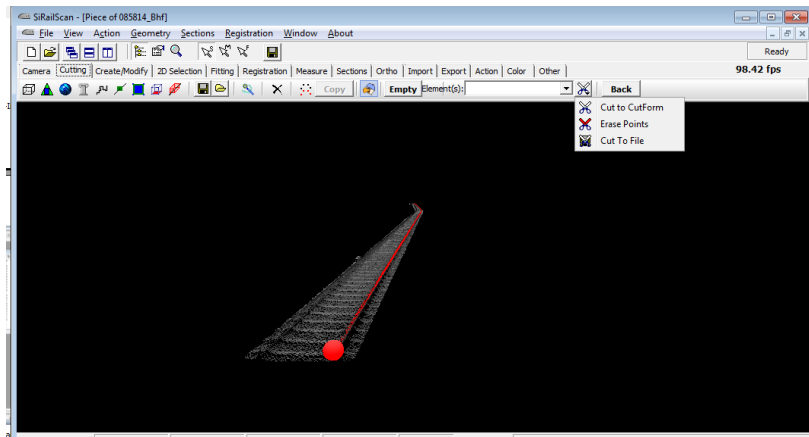


Abb. 6: Automatische Detektion der Schienenkopf Oberseite in SiRailScan.

4.2. Transformation in Bahnkoordinaten

Mit dem Vergleich von Soll- zur Ist-Gleisachse lassen sich für jeden Punkt entlang der Gleisachse Korrekturwerte ermitteln. Dies ist die eigentliche Transformation ins Bahn-Koordinatensystem. Nach einem solchen Ausgleichsvorgang sind Streckennummer, Kilometrierung und Abstand zum Soll bekannt, wobei die Korrekturwerte, ermittelt durch SiRailScan, zunächst im Bahnreferenzsystem vorliegen. Das Ergebnis der Analyse und Berechnung ist in Tabelle 1 für 0,5m-Abstände exemplarisch angeführt. Dabei wird die Station in Kilometern plus einem weiteren Versatz in Metern angegeben. Der Versatz in Richtung nächster (steigender) Station wird positiv gezählt und stellt die Bezugsrichtung dar. Ebenso ist das Vorzeichen für einen (Korrektur-)Abstand in Richtung rechter Schiene positiv definiert (siehe Abbildung 7).

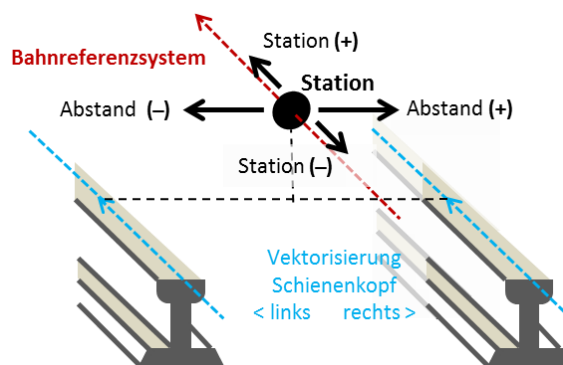


Abb. 7: Gleisachse und Definition der Stationen und Abstände.

Tabelle 1: Ist/Soll-Korrekturdaten (Abstand) aus Sicht des Bahnreferenzsystems

Lfd. Nr.	X [m](ETRS89)	Y [m](ETRS89)	Z [m](ETRS89)	StreckenNr.	Station	Abstand [m]
1	4053718,776	613708,978	4869641,868	3631	7,4+67,792	-0,068
2	4053718,725	613709,308	4869641,870	3631	7,4+68,292	-0,078

Das Anbringen der Werte aus der Korrekturtabelle steigert zwar die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Geopositionierung, wird aber für diese Anwendung als sekundär wichtig angesehen. Der Hauptvorteil dieser Herangehensweise liegt in der Tatsache, dass alle Daten nach diesem Schritt exakt im Bahn-Koordinatensystem referenziert sind und darin auch weiter ausgewertet werden können.

4.3. Anwenden der Korrekturen auf die Punktwolke

Über die bekannte räumliche Beziehung des Messsystems zur Gleisachse und den exakten UTC-Zeitstempeln lässt sich eine eindeutige Zuordnung der Korrekturwerte im Bahnreferenzsystem zur Trajektorie herstellen und somit in eine Korrekturtabelle für das RiPROCESS-Projekt umrechnen. Diese Tabelle enthält den Zeitstempel und alle 6 Freiheitsgrade wie Latitude, Longitude, Altitude, Roll-, Nick-, und Kurswinkel. Bei der Erstellung werden die entlang der Strecke äquidistant vorliegenden Korrekturwerte in den Zeitbereich übergeführt. Es ist völlig ausreichend, wenn diese für die Anbringung an der Trajektorie in etwas größeren, sinnvoll gewählten Intervallen, wie etwa im Sekundenabstand (siehe Tabelle 2), vorliegen.

Die horizontal-transversalen Korrekturwerte (Abstände) entlang der Trajektorie müssen in einem Zwischenschritt noch umgerechnet werden, um sie in dieser Tabelle getrennt in Latitude und Longitude anbringen zu können. Es ist anzumerken, dass durch den nahezu in Ost-West-Richtung verlaufenden Bahnabschnitt die Latitude-Komponente hier sehr gering ausfällt. Die Höhenwerte erfahren in diesem ersten Schritt keine Korrektur, da der differentielle Anschlusspunkt bereits im orthometrischen System bekannt ist. Ebenso bleibt die Orientierung des Systems zu jedem Zeitpunkt unkorrigiert.

Tabelle 2: Schema einer Korrekturtabelle für RiPROCESS

Zeitstempel [s] (UTC)	Δ Latitude [m]	Δ Longitude [m]	Δ Altitude [m]	Δ Roll [deg]	Δ Nick [deg]	Δ Kurs [deg]
205576,0	0,001	0,077	0,000	0,000	0,000	0,000
205577,0	0,001	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000
			⋮			

Ein erneutes Prozessieren des RiPROCESS-Projekts aktualisiert die Punktwolke und bringt sie somit ins Bahnreferenzsystem (siehe Abbildung 8).

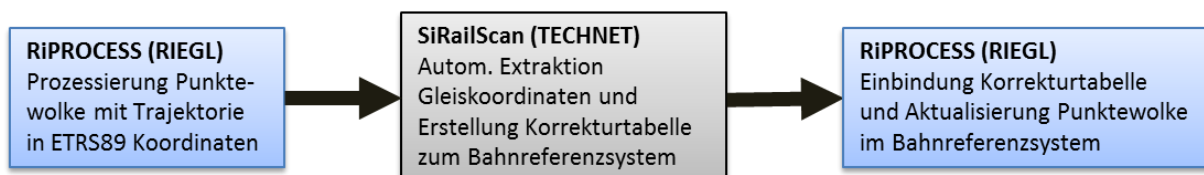


Abb. 8: Ablauf bei der Prozessierung der Daten.



Abb. 9: Eingefärbte Punktwolke

Nach diesen Ausgleichsvorgängen und einer erneuten Prozessierung der Punktwolke mithilfe der korrigierten Trajektorie wurden die Bilddaten der vier 5-Megapixel-Kameras aufeinander abgeglichen. RiPROCESS bietet dazu die nötigen Werkzeuge. Die Bildinformation der kalibrierten und georeferenzierten Fotos kann u.a. dafür verwendet werden, um die Punktwolke anschließend einzufärben und somit anschaulicher darzustellen (siehe Abbildung 9).

5. Extraktion und Datenmanagement von Information für die Bahn

Mit dem SiRailViewer (Abbildung 10) können die Nutzer georeferenzierte Scans in ihrem geografischen Umfeld abbilden. Die Software harmonisiert zudem Daten verschiedenster Herkunft und Genauigkeit und gewährleistet einen eindeutigen Zugriff. Dies erlaubt einen bequemen Umgang mit sehr großen Datenmengen. Ferner stehen intelligente Auswertefunktionen, im Speziellen für die Lichtraumanalyse, Messfunktionen für Lichtraumrahmen sowie Kollisionstests nach Euronorm zur Verfügung (Abbildung 11). Dabei sind die Waggon-Profile frei definierbar und werden automatisch der Fahrgeschwindigkeit angepasst. Auch ist die Einspeisung von umfangreichem Kartenmaterial möglich und es lassen sich Parameter für frei konfigurierbare Trassenabschnitte ermitteln.

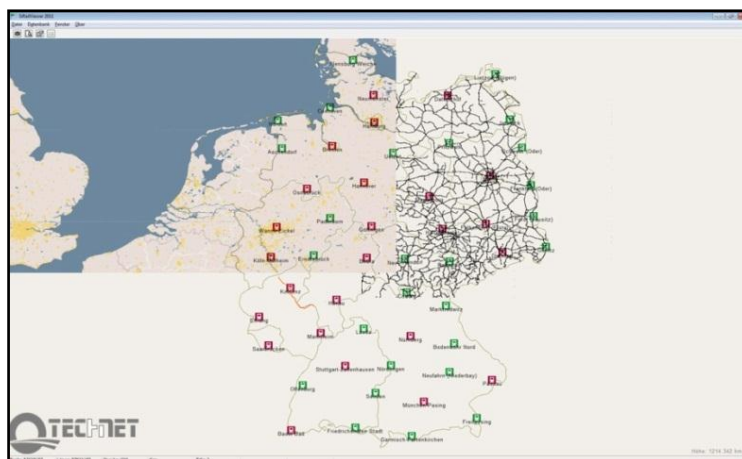


Abb. 10: Eisenbahn GIS inkl. Laserscandaten.

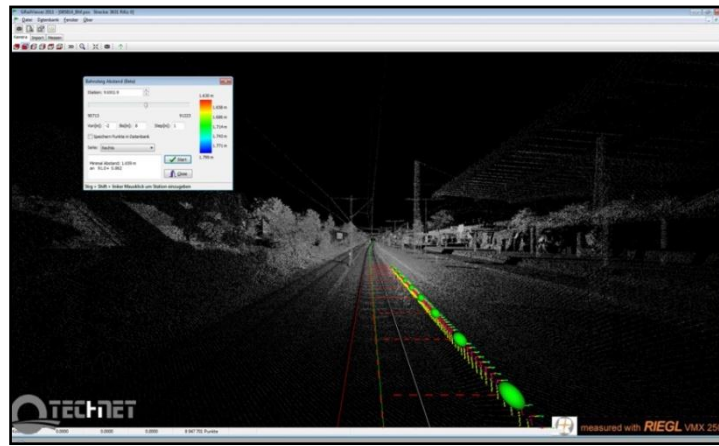


Abb. 11: Achsbasierte Lichtraum-und Fahrdynamikanalysen.

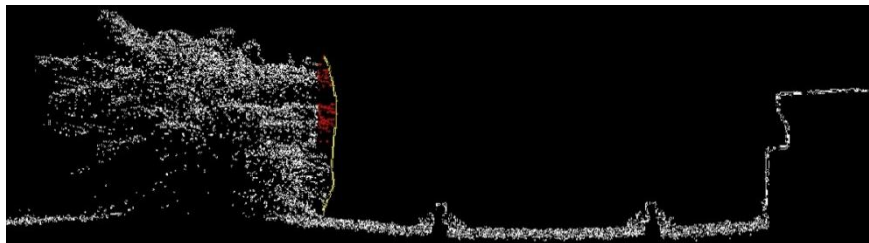


Abb. 12: Markierte Kollisionspunkte, die in das Lichtraumprofil ragen

Mit dem Modul SiRailManager kann ein komplettes Gleisnetz angezeigt und digital verwaltet werden. Die Nutzeroberfläche des Programms greift dabei auf eine serverbasierte Kunden-Datenbank zu. Neben einer fest installierten Version ist SiRailManager auch als Webapplikation erhältlich. So können gespeicherte Informationen zu beliebigen Streckenabschnitten bequem per Smartphone, Tablet-PC oder Laptop an jedem beliebigen Ort abgerufen und ausgewertet werden, wie beispielsweise das Ergebnis eines Kollisionstests in Abbildung 12 zeigt.

6. Zusammenfassung

Durch das mobile 3D-Laserscanning sind schnelle, präzise und nahezu lückenlose Aufnahmen der Umgebung möglich geworden. Flexible Einsatzmöglichkeit des verwendeten Systems sowie rasche Datenauswertung sind charakteristisch für den vorliegenden Anwendungsnachweis im Eisenbahnbereich. Mit dem Beispielprojekt wurde gezeigt, dass für die Schienenraumaufnahme ein hoher Automationsgrad in der Vermessung und Auswertung möglich ist, und dies mit bereits am Markt verfügbarer Hard- und Software. Die Endprodukte, wie Lichtraumauswertung, Echtzeit-Kollisionstests, Abstandsmessung zu Nachbargleisen sowie Analyse des relativen Verlaufs der Oberleitung in Bezug zur Gleisachse, können großflächig und effizient eingesetzt werden. Abgestimmte Software zum Datenmanagement verwaltet die Endprodukte und garantiert die Verfügbarkeit der Informationen über Kommunikationsmittel der heutigen Zeit.

Literatur

RIEGL (2012): *Datenblatt RIEGL VMX-250*, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, www.riegl.com

Lindahl, M. (2001): *Track geometry for high-speed railways: A literature survey and simulation of dynamic vehicle response*, TRITA-FKT Report, Royal Institute of Technology, Stockholm

Wikipedia (2012): GBM GAF:

http://de.wikipedia.org/wiki/GBM_GAF

technet-rail 2010 GmbH: <http://www.technet-rail.de>

DB Netz AG: www.dbnetze.com

© I. Milev, N. Studnicka, G. Zach, 2012

СЪЕМКА ТРАМВАЙНЫХ ПУТЕЙ В ХЕЛЬСИНКИ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОЙ ЛИДАРНОЙ СИСТЕМЫ

Ханну Корпела

Фирма Terrasolid Ltd, Kanavaranta 7 B 28, 00160 Хельсинки, Финляндия, директор по маркетингу и продажам, тел: +358 400 648 391, факс: +358 14 645 002, e-mail: hannu.korpela@terrasolid.fi

Точное определение положения рельсов является сегодня самой актуальной задачей, которую практически невозможно решить традиционной съемкой. С этой целью фирма Terrasolid с 2011г. стала использовать мобильную лидарную систему для съемки трамвайных путей в Хельсинки. Главная цель проекта заключалась в распределении легко распознаваемых цветных лидарных точек, с которых определяется точное положение рельсов и всех прилегающих к ним конструкций.

На стадии проекта разрабатывались программные модули и среди них модуль для автоматического согласования переездов для контроля дорожных знаков и выделения путей из лазерных точек в виде 3D векторов.

Ключевые слова: мобильная лидарная система, трамвайные рельсы, съемка, сканнер, TerraScan, TerraMatch.

HELSINKI TRAM LINE SURVEY BY MOBILE LIDAR SYSTEM

Hannu Korpela

Terrasolid Ltd, Kanavaranta 7 B 28, 00160 Helsinki, Finland, Marketing and Sales Manager, tel : +358 400 648 391, fax : +358 14 645 002, email: hannu.korpela@terrasolid.fi

To survey the accurate xyz-location of rails is a very demanding task and practically impossible in traditional field surveying. Therefore Terrasolid applied in 2011 a mobile LiDAR system to survey the tram license in Helsinki city. The targets of the survey project were to produce well geo-referenced, colored LiDAR points and from those points detect the accurate location of rails and all structures close to the tram lines.

During the project the software modules were developed among others to match automatic the drive passes to control signs and to extract rails as 3D vectors from laser points.

Key words: mobile LiDAR system, tram lines, survey, scanner, TerraScan, TerraMatch.

The Traffic Administration of Helsinki city – the capital of Finland – takes care about the public transportation in Helsinki city. Among bus and metro networks in downtown there is a relative dense tram line network, of which length is total 97 kilometers. About 200.000 people use trams daily Today trams with modern wagons are living a renaissance due to their good transportation capacity and the pollution problems of busses.

The Helsinki tram network system was built at the beginning of 1900. Due to narrow streets at that time curves are very tight in many places. This causes turning problems to modern wagons. Today the bottom of wagons should be on a much lower level than earlier, but on the other hand a low bottom can hit ground, if the vertical

curves are too tight. Street curbs, platforms and other structures may cause problems as well.

Mobile LiDAR mapping offers an advantageous and fast method to survey the location of the lines and close environment without causing essential harm to the other traffic. The targets of the survey project were as follows:

- To survey an exact location of the rails and the electric wires, their holder and conductors above the lines
- To survey in 3D objects close to the tram lines such as street curbs, stops and other objects
- To search places, where the space between rails and street pavement is too narrow. This information is needed to estimate the magnitude and places, where man must cut street payment to replace current wheels with wider and less noise wheels.
- To detect the 3D geometry of rails and deduce then their horizontal and vertical components. These components can then be used in redesigning the alignments for renovation.

Terrasolid Ltd from Finland was selected as contractor of the total project. To subcontractor Terrasolid selected 3D Laser Mapping (U.K.), which used their Street Mapper mobile LiDAR system. The system consisted of 2 kHz Riegl scanners and one forward looking oblique camera. The system was installed on the top of a tram wagon to get a higher position compared to a car roof as used normally as a platform. The survey took place from 29th to 31st May.

Due to high buildings and trees satellite visibility and the GPS access is often very poor in urban areas and forest. This results as a poor absolute positioning of the total system. In mobile LiDAR mapping the major errors are the xyz positioning of drive passes.

To correct the xy-errors of drive passes one must have control points on the ground features, which can be identified also from LiDAR points. Therefore small, white signs were painted to the asphalt just before scanning. Then later on they were surveyed by high-precision total-stations. The distance between the locations of signs was in open areas 250 meters. If the visibility was limited, then a 50 meters distance was applied.

For elevation correction airborne LiDAR data was applied. This data was collected in previous year by a helicopter LiDAR system. The point density was around 20... 25 points/m² and the accuracy of height around 3,5 cm. The mobile data was fixed to match airborne data.

All drive passes we categorized according to their accuracy of quality. In the final product the worst points were removed including as follows:

- Points due to stops
- Points, of which the survey length was longer than 100 m. In mobile mapping we are mainly interested about points of the street lanes, where the distance from scanners are only some meters. Thinking about their accuracy, the position of the system is critical. The longer is the distance from the scanner to the target, the more error is caused by the misalignment angles.

- All overlapping points were rejected after their drive pass quality. Only points from the best quality drive passes at each location was kept.
- In the delivery product the mobile and airborne data was merged together. Points from streets and building facades were mobile. Building roofs and other targets further away from the scanner than 100 m were airborne LiDAR.

The LiDAR data was fixed and classified by TerraScan and TerraMatch from Terrasolid. The oblique images were processed by TerraPhoto. Among others during the project until today a new function was developed to detect the control points automatic from LiDAR, compare their location to the surveyed points and then solve thexy errors automatic.

The project is still under way. The final deliveries are going to be available in late spring 2012.

About Terrasolid

Terrasolid Ltd. is a Finnish private software company. Today Terrasolid is the worldwide market leader, which develops and sells software for LiDARdata and image processing. Terrasolid packages - TerraScan, TerraModeler, TerraMatch and TerraPhoto - suit for airborne as well as mobile LiDAR data processing. Experiences about the Helsinki tram line mapping projects in 2011 and the latest news about city modelling texturing will be shown at Terrasolid stand in “Interexpo GEO-Siberia-2012”.

CONTACT

Hannu Korpela
Marketing and Sales Manager
Terrasolid Ltd
Kanavaranta 7 B 28
00160 Helsinki
Finland
Tel: +358 400 648 391
Fax: +358 14 645 002
Email: hannu.korpela@terrasolid.fi
www.terrasolid.fi

© H. Korpela, 2012

ПРОФИЛЬ, ПЛАТФОРМЫ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ OUT- AND INDOOR НАВИГАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ GNSS/MEMS ТЕХНОЛОГИЙ

Райнер Ягер

Университет прикладных наук Карлсруэ (HKA), факультет геоматики Института прикладных исследований (IAF), Moltkestrasse 30, D-76133 Karlsruhe, Германия, профессор по спутниковой и математической геодезии, уравниванию и разработке ПО, тел: ++ 49 (0) 721 925 2620, e-mail: reiner.jaeger@web.de

В статье рассматриваются основные вопросы, касающихся новых методов для государственной оценки автономных мультисенсорных навигационных систем на основе геодезических принципов навигации, начиная с относительных референционных систем и классического подхода к навигации.

Ключевые слова: комплексная out- and indoor навигация, алгоритмы, gnss и mems мультисенсорные навигационные платформы, плечи рычага, сочетание различных сенсорных датчиков, калибровка сенсора в процессе работы, конструкция сенсор-платформа и оптимизация, конструкция корпуса платформы.

PROFIL, PLATTFORMEN UND ALGORITHMEN FÜR DIE PRÄZISE GNSS/MEMS BASIERTE OUT- UND INDOOR-NAVIGATION UND OBJEKT-GEOREFERENZIERUNG MIT MOBILEN ENDGERÄTEN

Reiner Jäger

Karlsruhe University of Applied Sciences, Faculty of Geomatics, Moltkestrasse 30, D-76133 Karlsruhe, Professor for Satellite and Mathematical Geodesy, Adjustment, Software development and Surveying. tel: ++ 49 (0) 721 925 2620, e-mail: reiner.jaeger@web.de

The target of that paper is – based on geodetic foundations of navigation, starting with the relevant reference systems and the classical point of view on navigation – to present the essential topics for new methods for the state estimation of autonomous multi-sensor navigation-systems.

Key words: seamless out- and indoor navigation, navigation algorithms, gnss and mems multi-sensor navigation platforms, lever arms, multi-sensor fusion, sensor calibration on the fly, sensor-platform design and optimization, platform-body design.

Abstract

By the further development and new installation of independent GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS) with 63 satellites at present, and 127 satellites in 2020, respectively, as well as further IGSO and GEO orbit based regional satellite systems (QZSS, IRNSS, SBAS), precise GNSS-positioning is the motor, and a reliable component, for innovative developments on navigation in an increasingly mobile society. But only the precise orientation determination by further MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) sensor types opens the full potential, and at the same time the mass market, for innovative technologies and applications in satellite

navigation (SatNav) and mobile IT (MIT) including also navigation systems for indoor areas.

The essential targets and the profile of the new generation of 'smart-sensor-platforms' are the seamless out-/indoor navigation, as well as the geo-referencing of objects using miniaturized MEMS- based low cost sensors, as they are integrated e.g. in smart-phones. As concerns precise indoor-navigation, autonomous platforms and respective MEMS sensor-types (e.g. accelerometers, gyroscopes, magnetometers etc.) and algorithms on one side, and infrastructure-based non-autonomous navigation-platforms and algorithms (e.g. based on WLAN) on the other side, are complementary parts of present RaD.

With the geodetic core competencies of sensor data modelling, adjustment, reference systems, GNSS, navigation and geoinformatics, geomatics plays as key role in the interdisciplinary RaD topic of precise navigation systems, which is settled in the development of algorithms and the design of multifunctional scalable GNSS/MEMS multisensor-platforms. Here it is referred to the joint RaD project „GNSS-supported low-cost multi-sensor systems for mobile platform-navigation and object-georeferencing“ (www.navka.de) of the Baden-Württemberg cluster SatNav & Mobile IT (www.galileo-bw.de). Market potentials are vehicle and robotics navigation and geo-referencing tasks, traffic system management, integrated telematic systems (ITS), location based services, safety of life and security services, logistics, object-referencing/-identification, construction and city development, virtual reality und individual mobility out-and indoor. Above these, there are further applications for small multi-sensor platforms beyond „IT for Mobility and SatNav“.

The target of that paper is – based on geodetic foundations of navigation, starting with the relevant reference systems and the classical point of view on navigation – to present the essential topics for new methods for the state estimation of autonomous multi-sensor navigation-systems. These are the consideration of a general lever-arm design, robust estimation by redundant sensor platforms, sensor calibration on the fly, etc. Here the contribution gives an entry-point to access the mathematical methods for the parametrization and estimation of the navigation state parameters.

EINLEITUNG

Mit dem Ausbau und der Neueinrichtung politisch unabhängiger GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS) ist bei derzeit 63 bzw. 127 Satelliten in 2020 - sowie drei weiteren, mit IGSO- und GEO-Orbits groß-regional beschränkten Satellitensystemen (QZSS, IRNSS, SBAS) - die präzise Satelliten-Positionierung treibender Motor und sichere Bestandskomponente für innovative Navigationsentwicklungen in einer zunehmend mobilen Gesellschaft.

Aber erst die präzise Orientierungsbestimmung mit weiteren Sensortypen erschließt das Gesamtpotential und zugleich auch den Massenmarkt innovativer Technologien und Anwendungen von Satellitennavigation (SatNav) & Mobile IT, insbesondere auch Navigationssystementwicklungen für den Indoorbereich.

Die wesentlichen Ziele und das Profil der neuen Generation 'Smart-Sensor-Plattformen' sind die nahtlose Out-/Indoor Navigation sowie die Objektgeoreferenzierung mit miniaturisierten MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) basierten LowCost-Sensoren (Abb. 1, rechts oben), wie sie z.B. in Smartphones (Abb. 1, links unten) enthalten sind. In der präzisen Indoornavigation stehen sich die auf entsprechende Sensortypen (z.B. Beschleunigungs- und Kreisel Sensoren) und Algorithmen basierte autarke und die auf Infrastruktursensoren (z.B. WLAN) beruhende nicht-autarke Navigationsplattformen gegenüber.

Mit den geodätischen Kernkompetenzen Sensordatenmodellierung, Bezugssysteme, GNSS, Navigation und Geoinformatik kommt der Geomatik in der interdisziplinären Thematik der präzisen Navigation eine Schlüsselposition zu. Diese besteht in der Entwicklung von Algorithmen und im Design multifunktionaler und skalierbarer GNSS/MEMS Multisensorplattformen. Hierzu wird auch auf das Verbundforschungsprojekt „GNSS-gestützte LowCost-Multisensorsysteme zur mobilen Plattformnavigation und Objektgeoreferenzierung“ (www.navka.de) des Baden-Württembergischen Clusters SatNav & Mobile IT (www.galileo-bw.de) verwiesen. Basierend auf neuen mathematischen Modellen und Algorithmen entwickelt das FuE-Konsortium aus Industrie, dem IAF der Hochschule Karlsruhe (HSKA) als zentrale Forschungsstelle und dem Forschungspartner HTWG Konstanz die nächste Generation präziser „Hightech-LowCost“-Navigationsplattformen. In algorithmisch tiefer Kopplung von GNSS sowie den Rohdaten verschiedener autarker MEMS Sensoren entstehen, auch mit Blick auf den Massenmarkt sowie den LowCost-Bereich, unterschiedliche Navigationsplattformtypen.

Typische Marktpotentiale der o.g. Multisensorplattformen sind Fahrzeug-/ Robotiknavigation, Verkehrssystemmanagement in Verbindung mit Integrierten Telematik-Systemen (ITS), ortsbezogene Dienste, Rettungs- und Sicherheitsdienste, Logistik, Objektreferenzierung/-Identifikation, Bau-/Stadtentwicklung, Virtual Reality und Individualmobilität. Sie reichen aber auch über „IT for Mobility / SatNav“ hinaus.

Ziel dieses Beitrages ist es, aufbauend auf den geodätischen Grundlagen der Navigation, an vorderer Front die maßgeblichen Bezugssysteme und die Zustandsschätzung für Multisensornavigationssysteme von der mathematischen Modellbildung her bzgl. klassischer und neuer Methoden der Schätzung der Navigationszustandsparameter zu erschließen.



Abb. 1 oben: Sensorkomponenten einer Multisensorplattform (v. l. n. r.: GNSS, Gyroskop (schematisch) und MEMS-Inertialsensor.

Abb. 1 unten: Smartphones als multimodale Navigationsplattform, App-Softwareentwicklung sowie Navigationsanwendungen, wie z.B. in der Fahrzeugnavigation

ZUSTANDSVEKTOR UND BEZUGSSYSTEME DER NAVIGATION

„Navigation ist mehr als nur Positionierung“, darauf wurde einleitend bereits hingewiesen, und im Spektrum der sich rasant entwickelnden präzisen Navigation und deren Anwendungsfelder spielt insbesondere die Orientierungsgebung für die Aufgaben der Navigation und Georeferenzierung eine zentrale Rolle. Der zeitvariable Navigationsstatusvektor $\mathbf{y}(t)$ (1) umfaßt, über die Position in Form der geographischen Breite (B), Länge (L) und ellipsoidischen Höhe (h) im erdfesten System (e) hinaus, den 3D-Geschwindigkeitsvektor $\mathbf{v}$ und die 3D-Orientierung (Roll (r), Pitch (p) bzw. auch „Nick“ und Yaw (y) bzw. auch „Gier“ oder „Heading“) und lautet:

$$\mathbf{y}(t) = [(B, L, h)^e | (v_N, v_E, v_D)^n | (r, p, y)_b^n | (a_x, a_y, a_z)^b | (\omega_{nb,x}, \omega_{nb,y}, \omega_{nb,z})^b]^T \quad (1)$$

Dabei werden die 3D-Geschwindigkeit $\mathbf{v}$ und die 3D-Orientierung $\mathbf{r}(r, p, y)_b^n$ des Body (b) üblicherweise im lokalen geodätischen Vertikalsystem (LGV), auch „Navigations-Frame“ oder „n-frame“ (Abb. 4) parametrisiert. Hier zeigen die Achsen nach Nord (N), Ost (E) und unten (D). Hinzu kommen als Zusatzparameter der Beschleunigungsvektor $\mathbf{a}$ und der Drehratenvektor $\boldsymbol{\omega}$. Diese treten in der klassischen Modellierung als Sensorinput der Systemparametrisierung der aus je einer Triade von Beschleunigungs- und Kreisel Sensoren bestehenden Inertialnavigationssysteme auf. Im nachfolgend vorgestellten „NAVKA“-Konzept (www.navka.de) werden $\mathbf{a}$ und $\boldsymbol{\omega}$ – neben weiteren Hilfsparametern (z.B. Sensoroffsets) – dagegen als freie sensorisch beobachtbare Zusatzparameter der Zustandsbeschreibung (1) verwendet.

Inertialsystem (i) und erdfestes geozentrisches Bezugssystem (e)

Der inertielle „himmelsfeste“ Bezugsrahmen, der sog. International Celestial Reference Frame (ICRF), wird durch die Koordinaten $(\alpha, \delta)^i$ von über 600 extragalaktischen am Rand des Universums situierten Quasaren aufgespannt (Abb. 2, links). Die Radiosignale dieser Quasare werden über ein global verteiltes Netz von VLBI (Very Long Baseline Interferometrie) Stationen (Abb. 2, links) zeitsynchron im S/X-Band empfangen. Die Laufzeitdifferenzbeobachtungen (Abb. 2, links) sind in den erdfesten Stationskoordinaten $(x, y, z)^e$ parametrisierbar (Hofmann-Wellenhopf et. al 2008; Xu 2007). Gemeinsam mit den aus den global verteilten GNSS-Stationen des IGS-Dienstes (Bauer 2012) ermittelten GNSS-Baselines legen diese den inertial (i) gelagerten erdfesten (e) Bezugsrahmen ITRF (International Terrestrial Reference Frame) fest.

Die Systembeschreibung für kartesische Positions- oder auch Richtungsangaben $\mathbf{x}^i(t)$ bzw. $\mathbf{x}^e(t)$ stellt sich - bei gemeinsamer geozentrischer Lagerung von erdfestem (e) Bezugsrahmen (ECEF – Earth-Centered Earth-fixed Frame) und inertialem (i) Bezugsrahmen (ECIF – Earth Centered Inertial Frame) - dar als:

$$\mathbf{x}^e(t) = \mathbf{R}_i^e(t) \cdot \mathbf{x}^i(t) \text{ , mit } \mathbf{R}_i^e(t) = (\mathbf{R}_e^i(t))^T = \mathbf{R}_P \cdot \mathbf{R}_E \cdot \mathbf{R}_N \cdot \mathbf{R}_{Pr} \text{ . } \quad (2a,b)$$

Zur zeitabhängigen Parametrisierung der Pol- ($\mathbf{R}_P$), der Erdrotations- ($\mathbf{R}_E$), der Nutations- ($\mathbf{R}_N$) und der Präzessionsmatrix ($\mathbf{R}_{Pr}$) wird auf Xu (2007) verwiesen.

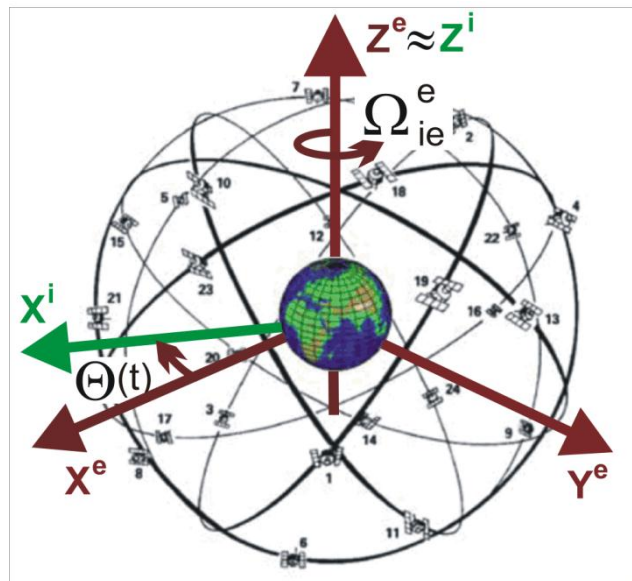
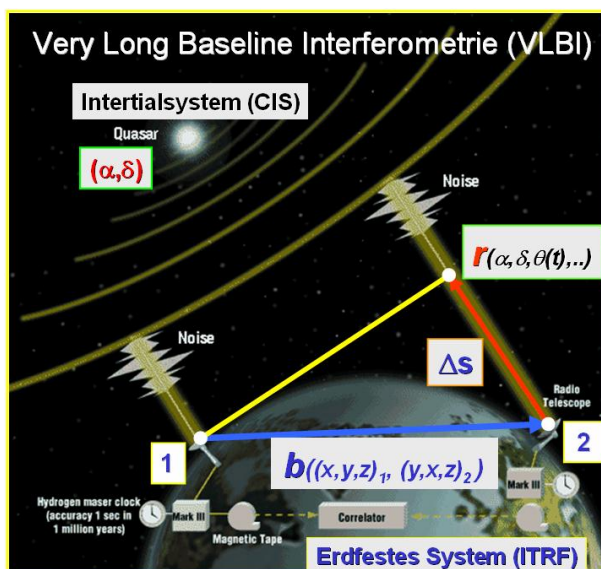


Abb. 2 links: inertialer (i) bezugsrahmen (ecif) aufgespannt durch „himmelsfeste“ quasare mit sternkoordinaten $(\alpha, \delta)^i$ und inertielle referenzierung des erdfesten (e) bezugsrahmen (ecef, itrf) über vlbi. Rechts: inertielle (i) keplerbahnen der satelliten gegenüber dem rotierenden erdfesten (e) system

Die obigen Gleichungen (2a,b) gelten auch für die Überführung der aus den Keplerelementen zu gewinnenden inertialen (i) Satellitenpositionen (Abb. 2, rechts) in den erdfesten (e) ECEF- bzw. ITRF-Bezug (Abb. 3).

Die mit $\dot{\mathbf{R}}_e^i(t) = \mathbf{R}_e^i(t) \cdot \boldsymbol{\Omega}_{ie}^e(t)$ in der ersten Ableitung von (2b) auftretende 3D-Drehratenmatrix $\boldsymbol{\Omega}_{ie}^e$ ist im wesentlichen von einer kurzzeitig konstanten Erddrehrate $\omega_{ie,z}^e =: \omega_E$ um die z-Achse geprägt (Abb. 2, rechts). Diese tritt auch als Parameter in der Zustandsbeschreibung (8a,b,c) bzw. (10d) von Inertialnavigationssystemen auf. Die Gleichungen (2a,b) stehen auch am Anfang der Überführung der inertialen (i) Navigationsgleichungen (7a,b) für Beschleunigungssensoren in den erdfesten (e) bzw. den sog. Navigations-Frame (n-frame) (siehe Abb. 3, 4).

Die Positionsangaben der geographischen Koordinaten (B,L,h) bzw. der geozentrischen (x,y,z) Koordinaten im Navigationsstatusvektor $\mathbf{y}(t)$ (1) werden im erdfesten (e) Navigationsrahmen (Abb. 3) angegeben. Zwischen den geographischen Koordinaten (B,L,h) und den kartesischen Koordinaten (x,y,z) im erdfesten System (e-Frame) gelten dabei die nachfolgenden eindeutigen Beziehungen (Xu 2007).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^e = \begin{bmatrix} (N(B) + h) \cdot \cos B \cdot \cos L \\ (N(B) + h) \cdot \cos B \cdot \sin L \\ (N(B) \cdot (1 - e^2) + h) \cdot \sin B \end{bmatrix}^e . \quad (3)$$

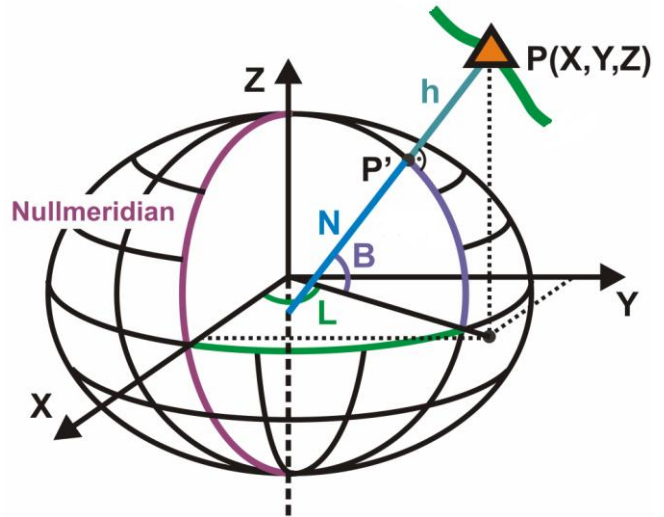


Abb. 3: Erdfestes (e) Bezugssystem mit den geozentrischen Koordinaten $(x,y,z)^e$ und geographischen Koordinaten $(B,L,h)^e$ eines Punktes P

Navigationssystemsrahmen (n-frame) und Orientierung des Bodys (b)

Die Geschwindigkeitsangabe sowie der Orientierungsstatus eines zu navigierenden Bodys (b) erfolgen in $\mathbf{y}(t)$ (1) im Body-zentrisch begleitenden Dreiein des sog. Geodätischen Vertikalen Systems (LGV). Das LGV wird auch allgemein als Navigationsrahmen (n), kurz „n-Frame“ bezeichnet (Abb. 4). Der in Abb. 4 dargestellte n-Frame mit aufwärts gerichteter z^n -Achse wird auch als „Upward“-System bezeichnet. In aller Regel wird in der Navigation aber das rechtsdrehende „Downward“-System als n-Frame verwendet. In Abb. 4 sind für das Upward-System auch die für das Navigationsthema der Objektgeoreferenzierung wichtigen LGV-Polarkoordinaten (s, α, z) dargestellt, aus denen sich direkt die kartesischen n-Frame Koordinaten $(x,y,z)^n$ ermitteln lassen. Die auf das astronomische vertikale System (LAV) bezogenen Polar- bzw. kartesischen Koordinaten können mit den aus einem Geopotentialmodell zu ermittelnden Lotabweichungen (ξ, η) wiederum in das LGV überführt werden (Jekeli 2001).

Schließlich liefert der n-Frame (n) auch den Bezug für die Orientierung eines Bodys (b). Der Body-Ursprung (Abb. 5) fällt dabei mit dem Ursprung P (Abb. 4) des n-Frames zusammen. Mit dem Rollwinkel r (1) wird die Drehung des Objekts bzw. Bodys (b) um seine Längsachse (Abb. 5) bezeichnet.

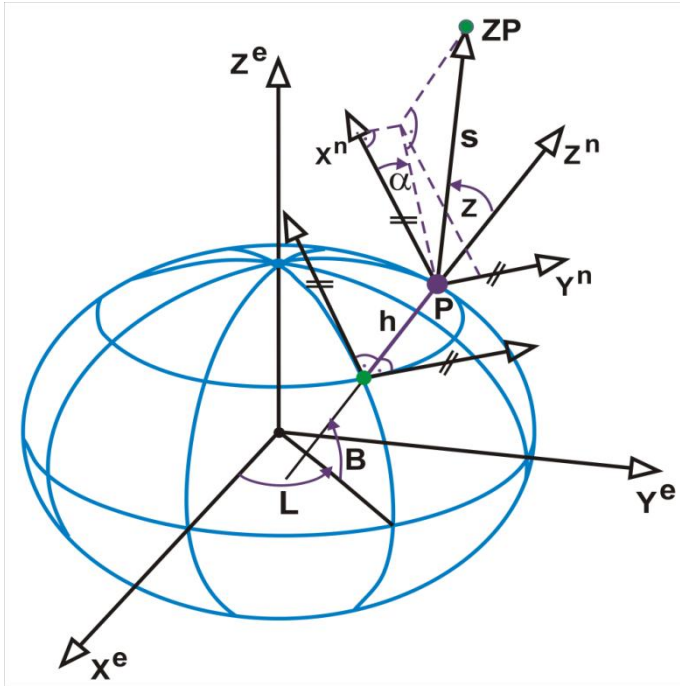


Abb. 4: Erdfester Bezugsrahmen (e-Frame) und bewegter Navigationsbezugsrahmen (n-Frame)

Der Yaw-Winkel y (1) entspricht in der Orientierungsgebung dem geodätischen Azimut α (Abb. 4). Der Pitch-Winkel p im Zustandsvektor $y(t)$ (1) (Abb. 5) entspricht auch dem Elevationswinkel e , mit $e = 90^\circ - z$ (Abb. 4). Für die Überführung von auf den Nullpunkt des n-Frames bezogenen Positionsvektoren, Richtungsvektoren oder auch Zustands- oder Beobachtungsvektoren $\mathbf{x}^n(t)$ in den e-Frame $\mathbf{x}^e(t)$ gelten die

Beziehungen:

$$\mathbf{x}^e(t) = \mathbf{R}_n^e(t) \cdot \mathbf{x}^n(t) \text{ bzw. } \mathbf{x}^n(t) = \mathbf{R}_e^n(t) \cdot \mathbf{x}^e(t) = (\mathbf{R}_n^e(t))^T \cdot \mathbf{x}^e(t), \text{ mit (4a)}$$

$$\mathbf{R}_e^n(B, L) = \begin{bmatrix} -\cos L \cdot \sin B & -\sin L \cdot \sin B & \cos B \\ -\sin L & \cos L & 0 \\ \cos L \cdot \cos B & \sin L \cdot \cos B & \sin B \end{bmatrix}. \quad (4b)$$

Die Beziehungen zur Überführung von Positions-, Richtungs-, Zustands- und Sensorbeobachtungsvektoren vom Body- (b) in den n-Frame lauten:

$$\mathbf{x}^n(t) = \mathbf{R}_b^n(t) \cdot \mathbf{x}^b(t) = (\mathbf{R}_n^b(t))^T \cdot \mathbf{x}^b(t) \text{ bzw. } \mathbf{x}^b(t) = \mathbf{R}_n^b(t) \cdot \mathbf{x}^n(t), \text{ mit (5a)}$$

$$\mathbf{R}_n^b(r, p, y) = \begin{pmatrix} \cos p \cos y & \cos p \sin y & -\sin p \\ \sin r \sin p \cos y - \cos r \sin y & \sin r \sin p \sin y + \cos r \cos y & \sin r \cos p \\ \cos r \sin p \cos y + \sin r \sin y & \cos r \sin p \sin y - \sin r \cos y & \cos r \cos p \end{pmatrix}$$

(5b)

Die Gleichungen (4a,b) bilden auch die Grundlage für die Überführung der - vom Inertial-System (i) (7a,b) ausgehend zunächst in den e-frame überführten - Navigationszustandsgleichungen vom e-frame in den n-Frame.

Auf der Basis von (4a,b) und (5a,b) lässt sich ein Algorithmus zur Positionierung und Orientierung mittels dreier in den Bodykoordinaten (b) bekannter bzw. eingemessener GNSS-Sensoren (Abb. 5) herleiten (Jäger 2010).

Die Gleichungen (5a,b) sind ferner grundlegend für die Überführung der Sensorbeobachtungen vom b-Frame in den n-Frame. Im Fall der am Body (b) angebrachten Strapdownplattformen (p) gelten Sie für die Überführung der Beobachtungen (z.B. Beschleunigungsmessungen eines Inertialnavigationssystems) vom p-Frame (Abb. 6) über den b-Frame in den maßgeblichen n-frame (8a,b,c).

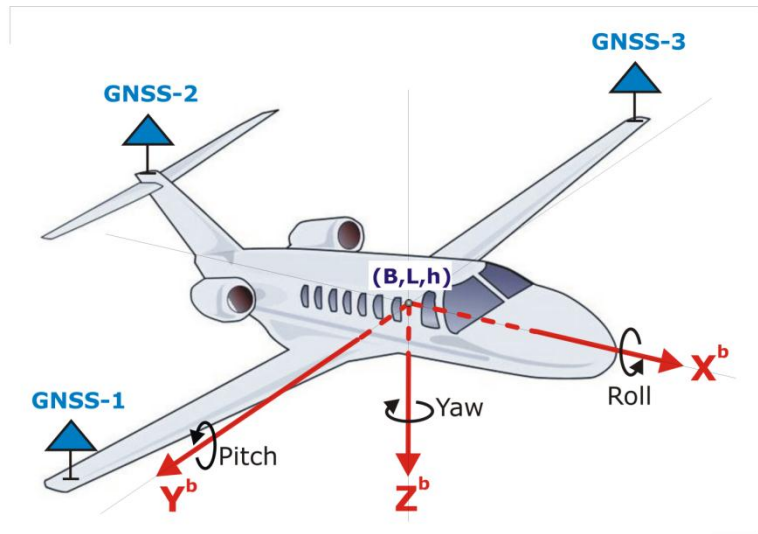


Abb. 5: Body (b) Frame und Orientierungswinkel („Lage“- oder „Attitude“-Winkel) Roll, Pitch und Yaw des Bodys (b) gegenüber dem n-Frame

Aus den Elementen der auch als Attitude-Matrix bezeichneten Drehmatix $\mathbf{R}_b^n(r, p, y)$ und $\mathbf{R}_b^n(r, p, y) = (\mathbf{R}_n^b(r, p, y))^T$ (5b) gehen mit

$$\begin{bmatrix} r \\ p \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tan^{-1}[\mathbf{R}_b^n(3,2)/\mathbf{R}_b^n(3,3)] \\ \tan^{-1}[-\mathbf{R}_b^n(3,1)/\sqrt{\mathbf{R}_b^n(2,1)^2 + \mathbf{R}_b^n(1,1)^2}] \\ \tan^{-1}[\mathbf{R}_b^n(2,1)/\mathbf{R}_b^n(1,1)] \end{bmatrix} \quad (6)$$

die Orientierungswinkel (r,p,y) des Bodys (b) bzgl. des n-Frame (Abb. 5) hervor.

SENSORTYPEN

GNSS-Sensorik und Outdoor-Navigation

Was die Modellbildung zur präzisen GNSS-Positionierung mittels den aus den Satellitensignalen abzuleitenden GNSS-Rohdaten (Code-, Phasen- und Dopplermessungen) anbelangt, so wird auf Xu (2007), Bauer (2011), Hofmann-Wellenhof et al. (2008) und Zwiener and Diekert (2012) verwiesen. Die Referenzierung der Satellitenbahnen basiert auf dem inertialen ECIF (Abb. 2), die Überführung der hieraus resultierenden geozentrischen Satellitenkoordinaten (x,y,z)ⁱ ins erdfeste (e) ECEF (x,y,z)^e erfolgt mit (2a,b). In den Modellbildungen der seitens der GNSS-Dienste bereitgestellten Nutzerdaten stehen sich gegenwärtig die Konzepte der absoluten GNSS-Positionierung (Online Precise Point Positioning (OPPP)) unter Einbindung von Zustandsmodellaten (State-Space-Representation (SSR)) in das GNSS-Processing und die klassische differentielle bzw. relative DGNSS-Positionierung über Beobachtungskorrekturdaten (Observation-Space-Related

(OSR)) gegenüber. Für letztere stehen die auf regionalen Referenzstationsnetzen basierenden cm-genauen GNSS Dienste bereit, für welche exemplarisch die in Deutschland aktiven DGNSS-Dienste SAPOS, AxioNet, SmartNet und VRSNow sowie der seitens des IAF/HSKA mit aufgebaute Moldawische DGNSS-Dienst MOLDPOS (www.moldpos.eu) genannt seien.

Vier unabhängige kommerzielle GNSS-Dienste - Starfire (NavCom/John Deere), OmniSTAR (Trimble), SeaSTAR (Fugro) und VERIPOS (Veripos) - leisten in globaler Flächendeckung entweder über SSR-Daten oder über OSR-Korrekturen derzeit bereits eine Subdezimeter- bis cm-genaue Positionierung. Für 2020 wird der Status „Global-Cm-Level-Accuracy-Anywhere“ prognostiziert (Takasu 2011).

Die Integration von GNSS in Multisensornavigationssysteme zur Zustandsschätzung $y(t)$ kann sowohl über die GNSS-Position (B,L,h) im sog. Loose- oder Tight-Coupling oder über die o.g. Rohdaten und unter Nutzung von OSR- oder SSR-Daten im sog. Deep-Coupling erfolgen (Wendel 2004, Zwiener und Diekert 2012, Jäger 2005-2012).

Infrastruktur-basierte und autarke Sensoren

In den aufkommenden präzisen Indoornavigations-Systemen und Anwendungen stehen sich die auf Infrastruktursensoren basierte nicht-autarke präzise Navigation und die auf entsprechenden autarken Sensortypen und Algorithmen basierende autarke Navigation gegenüber. Bzgl. Infrastruktursensor-basierter Indoornavigations-Konzepte und Systeme wird auf Sommer und Rosenstiel (2012), Saler und Uhl (2012) sowie Günther und Jöst (2012) verwiesen. Sie setzen das Vorhandensein georeferenzierter diskreter Landmarks (wie z.B. WLAN-Knoten) bzw. im Falle einer auf Bildverarbeitung basierenden Indoornavigation die Georeferenzierung der Innenraumtopologie voraus.

In diesem Beitrag werden im weiteren Infrastruktur-autarke Sensortypen (Jäger et. al 2012) und entsprechende mathematische Modellansätze vorgestellt, die sowohl Out- als auch Indoor verwendet werden können. Zu den autarken Sensortypen zählen:

- Beschleunigungssensoren (Bezug: Inertialsystem (i). Externe Referenzmodelle zur algorithmischen Modellierung: Geopotenzialmodell des Erdschwerefeldes zur Modellierung von $\mathbf{g}(\mathbf{x})$ (7a,b) und (2a,b)).
- Gyroskope (Bezug: Inertialsystem (i). Externes Referenzmodell zur algorithmischen Modellierung: (2a,b)).
- Neigungssensoren (Bezug: Erdschwerefeld. Externes Referenzmodell zur algorithmischen Modellierung: Geopotenzialmodell des Erdschwerefeldes).
- Magnetometer, Hilfssensor (Bezug: Erdmagnetfeld. Externes Referenzmodell zur algorithmischen Modellierung: Geopotenzialmodell des Erdmagnetfeldes).
- Barometer, Hilfssensor (Bezug: Erdatmosphäre. Externes Referenzmodell zur algorithmischen Modellierung: Erdatmosphärenmodell).

ZUSTANDSSCHÄTZUNG FÜR MULTISENSORPLATTFORMEN

Klassische Zustandsschätzung und NAVKA-Ansatz

Die in den vorigen Kapiteln beschriebenen Bezugssysteme und Übergänge sind nicht nur als Zielsysteme der Georeferenzierung des i.A. aus den Komponenten 3D-Position, 3D-Geschwindigkeit sowie 3D-Orientierung (Roll, Pitch (Nick), Yaw (Gier)) bestehenden Navigationsstatusvektors $y(t)$ (1) relevant. Sie treten auch in der Parametrisierung der Sensor-Beobachtungen auf. Für die Zustandsbeschreibung und in den Beobachtungsgleichungen (8a,b,c) und (10a-f) - beispielsweise im Modell einer Kalmanfilterung (Wendel 2004, Zwiener und Diekert 2012) als einem zur Zustandsschätzung (1) über Multisensornavigationsplattformen geeigneten mathematischen Modell - werden insbesondere die zeitlichen Ableitungen von (2a,b), (4a,b) und (5a,b) relevant.

Die elementaren Beobachtungsgleichungen für die auf den Ursprung des Body-Frames (b) (Abb. 5) bezogenen Messungen $\mathbf{a}^b(t)$ der Beschleunigungssensoren bzw. Drehraten $\boldsymbol{\Omega}_{ib}^b(t)$ der Gyroskope stellen sich im inertialen (i) Bezugsrahmen wie folgt dar:

$$\ddot{\mathbf{x}}^i(t) = \mathbf{g}^i(\mathbf{x}) + \mathbf{a}^i(t) = \mathbf{g}^i(\mathbf{x}) + \mathbf{R}_b^i(t) \cdot \mathbf{a}^b(t) \text{ bzw. } \dot{\mathbf{R}}_b^i(t) = \mathbf{R}_b^i(t) \cdot \boldsymbol{\Omega}_{ib}^b(t). \quad (7a,b)$$

Bereits hier zeigt sich - mit $\mathbf{R}_b^i(t) \cdot \mathbf{a}^b(t)$ - die Kopplung zwischen der seitens der Gyroskopsensoren zu bestimmenden Orientierung $\mathbf{R}_b^i(t)$ des Bodybezugssystems (b) im i-Frame und den erfaßten Beschleunigungsdaten $\mathbf{a}^b(t)$. Letztere werden mit fest montierten Sensoren in dem mit $\mathbf{R}_b^i(t)$ orientierungsvariablen Body (b) beobachtet.

Mit den Gleichungen (2a,b), (4a,b) und (5a,b) und den Regeln und Sätzen zur Frame-Transformation und für Rotationsmatrizen und deren Ableitungen gelangt man vom i-Frame über den e-Frame zur Zustandsbeschreibung für den Navigationszustandsvektor $y(t)$ (1) im Zielframe der Navigation, dem n-Frame. Die Navigationsgleichungen im n-Frame, hier als rechtsdrehendes downward n-System, lauten schließlich (Jekeli 2001, Jäger 2005-2012):

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v_N \\ v_E \\ v_D \end{bmatrix}^n = \mathbf{R}_b^n(t) \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}^b \text{ (Sensor)} + [-(\boldsymbol{\Omega}_{in}^n + \boldsymbol{\Omega}_{ie}^n) \cdot \mathbf{v}^n + \mathbf{g}^n] \quad (8a)$$

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} B \\ L \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{v_N}{M+h} \\ \frac{v_E}{(N+h) \cdot \cos B} \\ -v_D \end{bmatrix} \quad (8b)$$

$$\mathbf{R}_b^n(r, p, y | t) = \mathbf{R}_b^n(t-1) \cdot [\mathbf{I} + \boldsymbol{\Omega}_{nb}^b \cdot \Delta t + \frac{1}{2!} \cdot (\boldsymbol{\Omega}_{nb}^b)^2 \cdot \Delta t^2 + \dots] , \text{ mit } \quad (8c1)$$

$$\boldsymbol{\Omega}_{nb}^b = \boldsymbol{\Omega}_{ib}^b \text{ (Sensor)} - \boldsymbol{\Omega}_{in}^b \text{ ((2a, b), (4a, b), (5a, b))} \quad (8c2)$$

Die o. g. im Kontext mit (7a,b) angeführte Kopplung bleibt - mit $\mathbf{R}_b^n \cdot \mathbf{a}^b(\text{Sensor})$ (8a) - auch im n-Frame erhalten. Mit (8a,b,c1,c2) liegen so insgesamt drei gekoppelte Differentialgleichungen zum Navigationzustandsvektor $\mathbf{y}(t)$ (1) vor. Diese fungieren zugleich als sog. Transitionsleichungen zur Zustandsvorhersage, als sog. Systemkomponente einer Kalmanfilterung (Wendel 2004, Jekeli 2001), als dem typischen Modell zur Zustandsschätzung $\mathbf{y}(t)$ (1) für Multisensor-Navigationssysteme.

Dabei werden in den klassischen Ansätzen die Sensorbeobachtungen - $\mathbf{a}^b(\text{Sensor})$ (8a) und $\mathbf{\Omega}_{ib}^b(\text{Sensor})$ (8c2) – mit zur Zustandsvorhersage von $\mathbf{y}(t)$ (1) benutzt. Damit ist dieses Konzept der Kalmanfilter-Modellbildung jedoch fehleranfällig für systematische und grobe Sensordatenfehler (Jäger et al. 2012). Mit den neuen, dem o.g. B.W. Verbundforschungsprojekt gegenständlichen „NAVKA“-Ansätzen, wird dieses Manko behoben, indem in Zustandsbeschreibungen, wie oben (8a,b,c,) keine Sensordaten eingehen. Physikalische Zustandgleichungen wie (8a,b,c) bzw. Vorhersagemodelle generell werden in NAVKA über $\mathbf{y}(t)$ (1) durchweg parametrisch beschrieben. Die Sensordaten treten hier nur in der Komponente der Beobachtungsgleichungen („Messgleichungen“) der Kalmanfilterung auf und werden dort mit $\mathbf{y}(t)$ (1), und gegebenenfalls mit weiteren Hilfsparametern (Zwiener und Diekert 2012, Jäger et al. 2012) parametrisiert.

Die technische Realisierung und der reale Einsatz bzw. die physikalische Montage von Multisensornavigationsplattformen (p) auf Bodys (b) (Abb. 6) machen die Koinzidenz der Koordinatenursprünge von Sensorplattform (p) und den Sensoren (s) auf der Plattform (p) sowie die der Koinzidenz von Plattform (p)- und Bodyursprung (b) - selbst im Sonderfall „Plattform (p) = Body (b)“ - unmöglich. Auch die Parallelität der Achsen von Plattform (p), Body (b) und Sensoren (s) kann i. a. weder vorausgesetzt werden, noch ist sie - z.B. mit Blick auf ein optimales Sensorplattform- bzw. Plattform-Body-Design - wünschenswert. Die Gleichungen können in der Form (8a,b,c) daher zwar als Transitionsleichungen für den Navigationszustandsvektor $\mathbf{y}(t)$ (1) des Bodys (b) verwendet werden, als Gleichungen für realen Sensorinput können sie aus den zuletzt genannten Hemmnissen aber nicht direkt zur Anwendung kommen. In den Beobachtungsgleichungen realer Sensoren sind daher in jedem Fall zwingend sog. Leverarme (Jekeli, 2001) zu berücksichtigen. Dieses Thema wird im nächsten Abschnitt in allgemeiner Form behandelt.

Leverarm-Modellierung im NAVKA-Konzept

Die technische und damit zugleich auch die algorithmische Realisierung von Multisensornavigationsplattformen (p), die relativ zu einem Body (b) montiert sind (Strapdown-Plattformen), sowie das Design der Sensoranordnung (s) auf einer Plattform (p) erfordern es, eine „Verortung“ sowohl der Sensoren (s) als auch der Plattformen (p) einzuführen. Die entsprechenden Parameter sind als eigene Datenstrukturen vorzuhalten und sind zugleich auch Bestandteil der Sensorbeobachtungsgleichungen in Multisensornavigationsalgorithmen. Die „Verortung“ erfolgt, wie in Abb. 6 am Beispiel des Bodys (b) einer Flugdrohne

dargestellt, zum einen im Plattformkoordinatensystem (p) durch die 5 Parameter der 3D-Position sowie der beiden richtungsgebenden Orientierungsgrößen $(\alpha, \delta)_{i,j}$ des j-ten Sensors auf einer i-ten Plattform $[\mathbf{t}_s, \mathbf{r}_s(\alpha, \delta)]_{i,j}$. Zum zweiten muß die montagebedingte Position und Orientierung der i-ten Plattform (p) im Body-Koordinatensystem (b) durch weitere 6 Parameter in Form des 3D-Translationsvektors und der 3D-Orientierung $[\mathbf{t}_p, \mathbf{R}_b^p(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)]_i$ der i-ten Plattform algorithmisch behandelt werden. Die Leverarm-Parameter des j-ten Sensors (s) im Koordinatensystem der i-ten Plattform (p) sowie die der i-ten Plattform relativ zum Body (b) stellen sich wie folgt dar:

$$[\mathbf{t}_s, \mathbf{r}_s(\alpha, \delta)]_{i,j} \text{ und } [\mathbf{t}_p, \mathbf{R}_b^p(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z)]_i. \quad (9a,b)$$

Die Parameter (9b) entfallen, wenn - wie z.B. bei der Fußgängernavigation oder Georeferenzierung mit Smartphones (Bürge und Diekert 2012) - Plattform (p) und Body (b) koinzidieren. Sie werden aber gleichsam wiederum relevant, wenn das Smartphone als Strapdown-Plattform (p) - z.B. für die Navigation eines Fahrzeuges - verwendet wird. Die 11 Leverarm-Parameter (9a,b) sind daher grundsätzlich Gegenstand der Parametrisierung der Sensorbeobachtungen von Multisensorplattformen. Dies soll im folgenden am Beispiel der Parametrisierung der Sensordaten eines Beschleunigungssensors als Komponente eines Multisensorsystems dargestellt werden. Nach Abb. 6 sollen die Navigation und damit die Parametrisierung des Beschleunigungssensors in diesem Fall im e-frame erfolgen. Die skalare Beobachtung $a_{s_{i,j}}$ des j-ten Beschleunigungssensors (s) $s_{i,j}$ auf der i-ten Plattform (p) ergibt sich mit der Sensororientierung (9a) als Skalarprodukt des Richtungsvektors der Sensororientierung $\mathbf{r}_{s_{i,j}}^{p_i}$ und dem Beschleunigungsvektor $\mathbf{a}_{s_{i,j}}^{p_i}$ der 3D-Plattformbeobachtung im p-frame. Es gilt:

$$a_{s_{i,j}} = \mathbf{r}_{s_{i,j}}^{p_i} \cdot \mathbf{a}_{s_{i,j}}^{p_i} \quad \text{mit} \quad \mathbf{r}_{s_{i,j}}^{p_i} = [\cos \delta_{i,j} \cdot \cos \alpha_{i,j}, \cos \delta_{i,j} \cdot \sin \alpha_{i,j}, \sin \delta_{i,j}]^T. \quad (10a)$$

Mit der allgemeinen Transformationsbeziehung

$$\mathbf{a}_{s_{i,j}}^{p_i} = \mathbf{R}_b^{p,i} \cdot \mathbf{R}_n^b(r, p, y) \cdot \mathbf{R}_e^n(B, L) \cdot \mathbf{a}_{s_{i,j}}^e \quad (10b)$$

erhalten wir die im e-frame parametrisierte Beobachtungsgleichung für die Beschleunigungen des Sensors s_{ij} als

$$a_{s_{i,j}} = \mathbf{r}_{s_{i,j}}^{p_i} \cdot \mathbf{a}_{s_{i,j}}^{p_i} = \mathbf{r}_{s_{i,j}}^{p_i} \cdot \mathbf{R}_b^{p,i} \cdot \mathbf{R}_n^b(r, p, y) \cdot \mathbf{R}_e^n(B, L) \cdot \mathbf{a}_{s_{i,j}}^e. \quad (10c)$$

Die Zustandsgleichungen für den j-ten Beschleunigungssensor (s) auf der i-ten Plattform, $s_{i,j}$ lassen sich - ausgehend von (7a) und analog zu (8a) - für das erdfeste System (e) herleiten. Sie lauten dort für einen Beschleunigungssensor $s_{i,j}$ (Abb. 6):

$$\frac{d}{dt}[\dot{\mathbf{x}}(t)^e]_{s_{i,j}} = [\ddot{\mathbf{x}}(t)^e = \mathbf{a}^e + \mathbf{g}^e(\mathbf{x}^e) - 2 \cdot \boldsymbol{\Omega}_{ie}^e \cdot \dot{\mathbf{x}}(t)^e - \boldsymbol{\Omega}_{ie}^e \cdot \boldsymbol{\Omega}_{ie}^e \cdot \mathbf{x}(t)^e]_{s_{i,j}}. \quad (10d)$$

Durch Einsetzen von $\mathbf{a}_{s_{ij}}^e$ aus (10d,e) in die Sensorbeobachtungsgleichung (10c) werden die Beobachtungsgleichungen in der Beschleunigung $\ddot{\mathbf{x}}(t)_{s_{ij}}^e$ im e-frame am Ort des Sensors parametrisiert.

$$\mathbf{a}_{s_{ij}}^e = \mathbf{r}_{s_{ij}}^{p_i} \cdot \mathbf{R}_b^{p,i} \cdot \mathbf{R}_n^b(r, p, y) \cdot \mathbf{R}_e^n(B, L) \cdot [\ddot{\mathbf{x}}(t)^e - \mathbf{g}^e(\mathbf{x}) + 2 \cdot \boldsymbol{\Omega}_{ie}^e \cdot \dot{\mathbf{x}}(t)^e + \boldsymbol{\Omega}_{ie}^e \cdot \boldsymbol{\Omega}_{ie}^e \cdot \mathbf{x}(t)^e]_{s_{ij}} \quad (10e)$$

Die beiden letzten Terme in (10d,e) sind die bekannte Coriolis- sowie die Zentrifugalbeschleunigung. Die von der Bodyposition ausgehende „Verortung“ des Sensors s_{ij} im e-Frame stellt sich mit Leverarm-Parametern (9a,b) dar als:

$$\mathbf{x}_{s_{ij}}^e = \mathbf{x}_b^e + [\mathbf{R}_n^e(B, L) \cdot \mathbf{R}_b^n(r, p, y) \cdot \mathbf{t}_{p_i}^b]_{p_i}^e + [\mathbf{R}_n^e(B, L) \cdot \mathbf{R}_b^n(r, p, y) \cdot \mathbf{R}_{p_i}^b \cdot \mathbf{t}_{s_{ij}}^p]_{s_{ij}}^e. \quad (10f)$$

Das Einsetzen von (10f) sowie der ersten und zweiten zeitlichen Ableitungen von (10f) in die Beobachtungsgleichung (10e) liefert die Parametrisierung der Beschleunigungssensor-Beobachtung $\mathbf{a}_{s_{ij}}^e$ bzgl. Position $\dot{\mathbf{x}}_b^e(t)$, Geschwindigkeit $\ddot{\mathbf{x}}_b^e(t)$ und Beschleunigung $\ddot{\mathbf{x}}_b^e(t)$ des Bodys (b) und in Funktion der fixen Leverarm-Parameter (9a,b) (Abb. 6) sowie der Orientierungsparameter und ihrer Ableitungen.

Die Beobachtungsgleichungen weiterer autarker Sensoren in dieser Parametrisierung finden sich in Jäger et. al (2012).

Über die - neben dem Sensor analog auch für den Body geltende – Beschleunigungsgleichung (10c) kann $\ddot{\mathbf{x}}_b^e(t)$ wiederum eliminiert und an Stelle von $\ddot{\mathbf{x}}_b^e(t)$ der Beschleunigungszustandsparameter $\mathbf{a}_b^e(t)$ eingeführt werden. Unter Kopplung an die entsprechenden Drehmatrizen kann $\mathbf{a}_b^e(t)$ in $\mathbf{a}_b^b(t)$ transformiert werden, so dass die Sensorbeschleunigung $\mathbf{a}_{s_{ij}}^e$ (10c) schließlich vollständig durch die Parameter des mit (1) gegebenen standardmäßigem Navigationszustandsvektors $\mathbf{y}(t)$ parametrisiert ist.

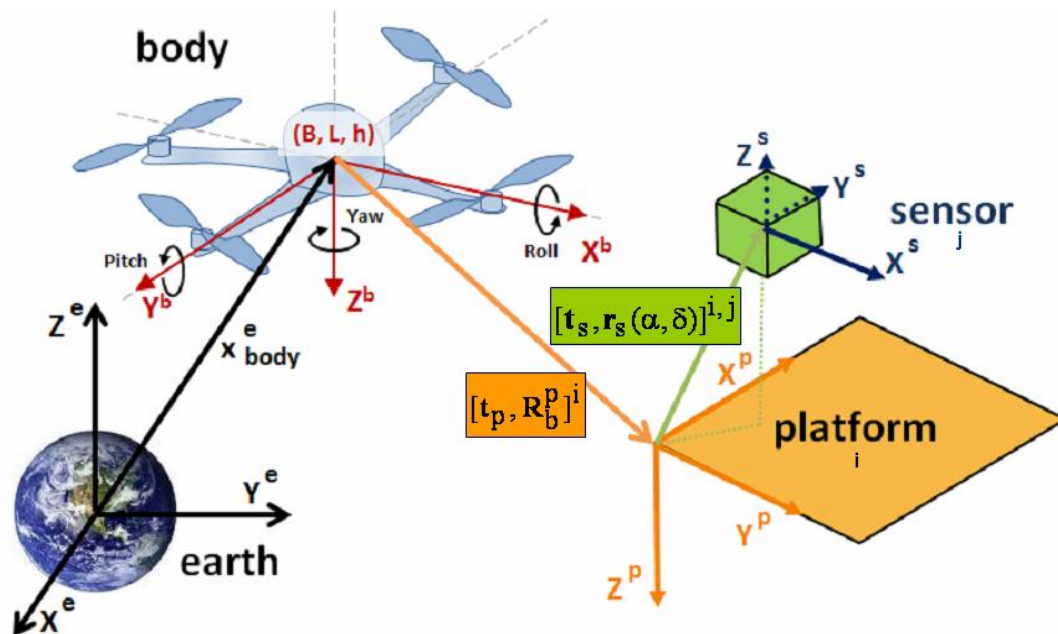


Abb. 6: „Verortung“ bzw. Leverarme des j -ten Sensors (s) auf der i -ten Plattform (p) sowie der i -ten Plattform auf Body (b) über Translationsvektoren, Rotationsmatrizen und Sensororientierungsparameter

AKTUELLE ENTWICKLUNGEN UND HERAUSFORDERUNGEN

Der Navigationszustandsvektor $y(t)$ (1) kann sowohl zur In- und Outdoor Navigation von Objekten bzw. Bodys (b) (Abb. 5) als auch in den Anwendungsszenarien der mobilen Objektgeoreferenzierung (Virtual Reality, Objektidentifikation) (Abb. 7, rechts) verwendet werden. In aktuellen Entwicklungen kristallisieren sich dabei Smartphones bzw. Tablet-PC als universelle Out- und Indoor-Navigationsplattformen heraus. Für Navigationsaufgaben sind Smartphones und Tablet PC multimodal nutzbar (... Fußgängernavigation zum Auto – Autonavigation zur Flughafengarage – Indoornavigation zum Gate – Indoornavigation durch die Messe bzw. Virtual Reality bei den touristischen Explorationen am Zielort ...). Mehrwerte bzw. hohe wirtschaftliche Potentiale durch Apps sind bei allen o.g. Navigationsaufgaben erkennbar. Eine hohe Bedeutung kommt dabei künftig auch der algorithmischen Integration der Sensordaten externer Plattformen bzw. Datenquellen zu, z.B. in Form von Apps, die als Strapdown-Navigationsplattform Fahrzeugsensordaten mitmodellieren, gleiches gilt für mobile Robotikanwendungen wie z.B. in der Landwirtschaft.

Die in aktuellen Smartphones und Tablet PCs vorhandene autarke Navigationssensorik erweist sich bei den im B.W. Verbundforschungsprojekt Multisensornavigation (www.navka.de) durchgeführten FuE – bei algorithmischer Modellierung von Sensorfehlerzusatzparametern (Offsets, Skalierungsparameter, Drifts) – gerade auch bzgl. Orientierungsgebung bereits als sehr leistungsfähig (Bakri et. al 2012). Verteilte Sensoren moderner Navigationssensorsysteme erfordern grundsätzlich die dargelegte Leverarm-Modellierung (9a,b) und (10a-f) (Abb. 6; Abb. 7, links). Dies bedeutet aber nicht nur einen algorithmisch anspruchsvollen Modellierungsmehraufwand. Leverarmparameter sind auch eine Chance, bzw.

bedeuten ein hohes Potenzial, in der Entwicklung innovativer Multisensor-Plattformen mit optimalem Design, ebenso wie zur Design-Optimierung bestehender Plattformen bzgl. anzubindender Zusatzsensorik.

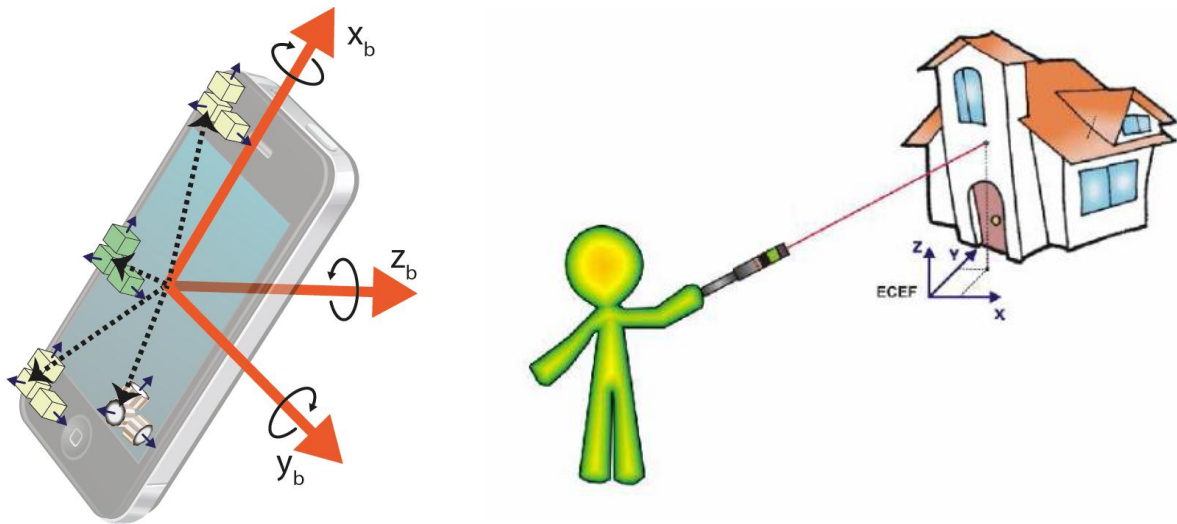


Abb. 7: Smartphone bzw. Tablet-PC zur multimodalen Out- und Indoor-Navigation (links) sowie zur Objektidentifikation und Georeferenzierung bei mobilen Anwendungen (rechts)

Angeichts der Komplexität von Plattform-Sensordesign und den damit einhergehenden mathematischen Modellen der Navigationszustandsschätzung können Algorithmen effizient und kostengünstig - als Vorstufe der Plattformprototyp-Entwicklung - nur über die Simulation der Sensorrohdaten entsprechend designer virtueller Plattformen entwickelt und validiert werden (Jäger et al. 2012).

LowCost GNSS-/MEMS-Sensoren ermöglichen künftig redundante Sensorsysteme und legen damit leistungssteigernde Konzepte zur robusten Schätzung (Jäger und Gonzalez 2005) des Navigationszustands nahe. Die Revision der algorithmischen Konzepte hat dabei grundlegend zu erfolgen. Als Beispiel sei das Differentialgleichungssystem (8a,b,c) angeführt. Anstatt dieses in klassischer Sicht als INS mit „Initial Alignment-Problem“ bzgl. Position und Orientierung sowie ungünstiger Fehlerfortpflanzung zu betrachten, kann (8c2) auch in die Sensorbeobachtungsgleichung

$$\omega_{ip}^p = \omega_{np}^p + \mathbf{R}_n^p(r, p, y) \cdot \omega_{in}^n \quad (11)$$

umgeschrieben werden. Ist die Plattform beim „Anzielen“ (Abb. 7, rechts) in Ruhe ($\omega_{np}^p = 0$), so kann über die Beobachtungsgleichung (11) die Orientierungsbestimmung direkt erfolgen, so daß die Plattform für Aufgaben der Objektgeoreferenzierung in mobilen Anwendungen bereits auf Basis der Gyroskopsensoren genutzt werden kann. Die faktische Trennung von Positionierungs- und Orientierungsaufgabe erweist sich als Vorteil.

Die notwendige Modellierung zusätzlicher Sensorparameter mündet in Verbindung mit Multisensorik und der Aufgabe der Elimination von

Sensordatenfehlern unter Zuverlässigkeitsaspekten auf robuste Kalman- bzw. alternative Zustandsfilterungen in tiefer Kopplung (Deep-Coupling) der Sensorrohdaten. Analog der Entwicklung von Algorithmen zur „Ambiguity-Lösung on the Fly“ bei GNSS besteht in Bezug auf GNSS/MEMS-basierte Multinavigationssensorik gegenwärtig die Herausforderung zur Entwicklung mathematischer Modelle der Zustandsschätzung mit „MEMS-Sensorkalibrierung on the Fly“.

Die nahtlose Out- und Indoornavigation birgt sehr hohe Marktpotenziale für künftige Software- und Systementwicklungen. Über diese Entwicklungen hinaus erstrecken sich diese auch auf die weiteren Komponenten der Schaffung, Bereitstellung und der algorithmischen Integration externer Geodateninfrastrukturen (Saler und Uhl 2012). Eine Herausforderung liegt in diesem Bereich auch in der Kombination von autarker und Infrastruktur-basierter Navigationssensorik. Diese Aufgabe erfordert eine weitere algorithmische Integrationsebene z.B. in Form der Zusammenführung von Kalmanfilter- und Partikelfilter.

Bzgl. GNSS bestehen neue Herausforderungen in der tiefen Kopplung der GNSS-Rohdaten zur präzisen multisensorischen GNSS/MEMS-Navigation im LowCost Bereich, insbesondere im Kontext mit SSR-Daten und OPMP. Von Interesse für den Massenmarkt (z.B. Smartphones) ist künftig die Ausschöpfung von Linearkombinationen auf drei Frequenzen und Multi-GNSS. Mit der höheren Genauigkeit von Codemessungen z.B. bei GALILEO sind auch Linearkombinationen von Phasen- und Codemessungen relevant. Algorithmen zur DGNSS-Positionierung mit OSR-Korrekturen sind für die hochpräzisen LowCost Bereiche, wie kostengünstiges Geomonitoring und smarte RTK-Systeme von Bedeutung. In allen Fällen stehen im Kontext mit LowCost GNSS und der Kombination mit autarken MEMS-Sensoren auch neue Algorithmen zur Ambiguity-Lösung und Cycle-Slip Elimination in Betracht von FuE.

Literaturverzeichnis

1. Bakri, A., Hoscislwaski, A. und E. Zerr (2012): App-Entwicklung zur Multisensornavigation unter Android™. Karlsruhe Geowissenschaftliche Schriften (KGS), Reihe B, Band 7. ISBN 978-3-89063-106-6.
2. Bauer, M. (2011): Vermessung und Ortung mit Satelliten. 6. Aufl., Wichmann.
3. Bürgy, C. and J. Diekert (2012): Mobile Computing - Neue Potenziale für präzise Indoor-/Outdoor-Navigation, Objektreferenzierung und Augmented Reality. Karlsruhe Geowissenschaftliche Schriften (KGS), Reihe B, Band 7. ISBN 978-3-89063-106-6.
4. Günther, C. und M. Jöst (2012): Infrastruktursensorik-basierte Smartphone-Navigation für Messen, Shopping-Center und Flughäfen. Karlsruhe Geowissenschaftliche Schriften (KGS), Reihe B, Band 7. ISBN 978-3-89063-106-6.
5. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. und E. Walse (2008): GNSS - Global Navigation Satellite Systems 2008: GPS, GLONASS, Galileo, and more: Springer Verlag. Wien.
6. Jäger, R. and F. Gonzalez (2005): GNSS/GPS/LPS based Online Control and Alarm System (GOCA) - Mathematical Models and Technical Realisation of a System for Natural and Geotechnical Deformation Monitoring and Hazard Prevention. ISGDM IAG-Symposium 2005. IAG Series on Geodesy Symposia. Springer Heidelberg and New York. ISBN 3-540-38595-9. S. 293 – 304.

7. Jäger, R. (2010): Geodätische FuE-Projekte im Bereich GNSS-Echtzeittechnologien und Mobile IT. Forschung aktuell 2010. Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft. ISSN 1613-4958. S. 41-45.
8. Jäger, R. (2005-2012): Vorlesungsskript zur Navigation. Masterstudiengang Geomatics, Fakultät für Geomatik, HSKA.
9. Jäger, R., Diekert, J., Hoscislawski, A. und J. Zwiener (2012): SIMA – Raw data Simulation Software for the Development and Validation of Algorithms for GNSS and MEMS based Multi-Sensor Navigation Platforms. Paper Presented to the FIG Workshop. Rome, May 2012.
10. Jekeli, C. (2001): Inertial Navigation Systems with Geodetic Applications. De Gruyter, Berlin, New York.
11. Saler, H. und J. Uhl (2012): Geodatenstrukturen für Indoor-Navigation. Karlsruhe Geowissenschaftliche Schriften (KGS), Reihe B. Band 7. ISBN 978-3-89063-106-6.
12. Sommer, J. und W. Rosenstiel (2012): Infrastruktursensor-basierte Navigation. Karlsruhe Geowissenschaftliche Schriften (KGS), Reihe B, Band 7. ISBN 978-3-89063-106-6.
13. Takasu, T. (2011): Precise Positioning Technologies in „Multi-GNSS-Era“. Proceedings ION GNSS 2011, Portland, Oregon/USA.
14. Wendel, J. (2004): Integrierte Navigationssysteme. Oldenbourg Verlag. München.
15. Xu, G. (2007): GPS – Theory, Algorithms and Applications. Springer Verlag.
16. Zwiener, J. and J. Diekert (2012): Multisensorfusion zur autonomen Navigation und Objektgeoreferenzierung. Karlsruhe Geowissenschaftliche Schriften (KGS), Reihe B. Band 7. ISBN 978-3-89063-106-6.

Acknowledgement

The funding of the Joint Research Project „GNSS/INS and multi-sensor navigation algorithms and platforms for mobile navigation and object geo-referencing“ for three years (2011-2013) by the Ministry of Economics, and the navigation and mobile IT industry of Baden-Württemberg. is gratefully acknowledged.

Biographical Notes

Prof. Dr.-Ing. **Reiner Jäger**

Professor for Satellite and Mathematical Geodesy, Adjustment and Software Development at Karlsruhe University of Applied Sciences (HSKA). Head of the HSKA Laboratory of GNSS and Navigation. Head of the IAF Institute of Geomatics at HSKA. Head of the joint RaD project "GNSS-supported lowcost multisensor systems for mobile platform navigation and object geo-referencing" (www.navka.de).

Honorary Professor at the Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

Member FIG Commission 5 WG 5.4 Kinematic Measurements

Contact

Prof. Dr.-Ing. **Reiner Jäger**

University of Applied Sciences – Institute of Applied Research (IAF).

Moltkestraße 30. 76137 Karlsruhe, GERMANY

Tel. +49 (0)721 925-2620

Fax +49 (0)721 925-2591

Email: reiner.kjaeger@hs-karlsruhe.de

Web-Site: www.navka.de

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАТИКИ

Готтфрид Конечный

Ганноверский университет им. Лейбница, Nienburger Str.1, D-30167 Ганновер, Германия, засл. профессор, почетный профессор СГГА, тел/факс: 0049-511-762-2483, e-mail: konecny@ipi.uni-hannover.de

Прогресс геоинформационной технологии зависит от новых технологий, появляющихся в ходе научно-технических разработок. Они открывают новые возможности для дисциплины целым рядом применений:

- ГНСС позиционирование
- Цифровое изображение
- Спутниковое изображение
- Обработка стерео изображения
- Радарное и лазерное сканирование
- Достижения компьютерной технологии
- Технология баз данных
- Веб-приложения
- Технология мобильной связи

Эти применения делают геоинформатику более эффективной и позволяют решать те задачи, которые раньше невозможно было решать.

Ключевые слова: геодезическая технология, техническое новшество, позиционирование, аэрокосмическое изображение, лазеры, закон Мура, базы данных, веб-приложения, мобильная связь.

TECHNOLOGY INNOVATIONS AND THEIR CHALLENGES FOR GEOINFORMATICS

Gottfried Konecny

Leibniz University Hannover, Institute for Photogrammetry and Geoinformation, Nienburger Str.1, D-30167 Hannover, Germany, Emeritus Professor, Honorary Professor of SSGA, office/fax: 0049-511-762-2483, e-mail: konecny@ipi.uni-hannover.de

Progress in geoinformatics technology depends on technological innovations introduced by other scientific and engineering developments. These offer challenges to the discipline in a variety of applications, such as:

- GNSS positioning satellites
- Digital imaging
- Satellite imaging
- Stereo image processing
- Radar and laser scanning
- Computer technology advances
- Data base technology
- Web applications
- Mobile communication technology

These applications make geoinformatics more efficient and they help to complete tasks previously not possible to undertake.

Key words: surveying technology, technical innovation, positioning, aerial imaging, satellite imaging, lasers, Moore's Law, data bases, web applications, mobile communication.

1. Introduction

The Surveying and Mapping disciplines are an applied technology. From the very beginning they have used inventions of science and technology for the purpose of measuring and describing the earth's surface and their objects. Survey instruments, such as the theodolite were not created by surveyors, but by mechanical craftsmen and optical scientists, and photogrammetry would not have come about without the invention of photography and of aerial platforms.

Willem Schermerhorn, Prime Minister of the Netherlands after 1945 and founder of the ITC, which brought photogrammetry to the developing world, said at the 50th Anniversary of the German Society for photogrammetry in 1959: "None of the designers in photogrammetry were survey specialists. They either came to photogrammetry from aviation or as engineers and physicists".

At the 100th Anniversary of the International Society for Photogrammetry and remote Sensing in Vienna in 2010 the economist Franz Radermacher said: "We all stand on the shoulders of giants, who make our progress possible".

This is a good reason to make a review of the technological innovations of today, which offer challenges to geoinformatics by their application.

One of the economists trying to establish a link between technological innovation and the economy was Nikolai Dmitrijevich Kondratjev (1892-1938). He stated, that a paradigm change takes place in society every 40 to 60 years, which leads to sudden improvements in technology and its economic consequences. Kondratjev and his followers identified five Kondratjev cycles since the beginning of industrialization around 1780:

- Mechanical weaving, steam ships, coal and iron technology (1780-1850 power)
- Railways, the telegraph, cement, photography (1850-1890 transport)
- Electrification, chemistry, the automobile, aluminum (1890-1940 flight)
- Electronics, television, nuclear power, space technology (1940-1990 automation)
- Information technology, the Internet (1990-2040 communication).

In this context it is interesting to compare, which technologies made available by others are being adapted to geoinformation tasks.

2. Current Technology Innovations with impact on geoinformatics

These techniques are:

- GPS-GNSS geopositioning
- Digital aerial photography
- Satellite imaging covering the globe
- Stereo image processing software
- Radar and laser scanning
- Computer technology advances

- Data base technology
- Web applications
- Mobile communication technology.

GNSS-GPS satellite positioning

The GNSS positioning technology permits to determine a geometrical figure of the earth with precise coordinates. Combined with gravity observations the physical figure of the earth may be precisely determined. Extending these observations into a time series, earth rotation and crustal motion may be monitored with high precision, fulfilling the scientific tasks of geodesy.

At the technical level GNSS-GPS permits to create a 3 dimensional terrestrial reference frame. For this purpose the International GNSS Service (IGS) has been established. It is a voluntary service monitoring GPS and GLONASS performance from more than 200 stations distributed over the globe. This permits to create a global framework for high accuracy geocoding of measurement stations. In this manner fiducial stations for continuous observations for each continent (EUREF, SIRGAS) or each country (SAPOS, SWEPOS) may be established. By these it becomes possible to correct the distance dependent systematic signal errors, which are mainly caused by the ionosphere. With a sufficient density of reference stations (CORS), e.g. every 50 km, positioning with 1cm precision may be obtained (and with 10 km spacing a precision of several mm is possible).

It is of interest, that GNSS positioning with 10cm precision is also dynamically possible in aircraft and other moving platforms.

These high accuracies are of course only attainable with rather expensive GNSS phase receivers costing several 10 000\$, while the inexpensive code receivers costing no more than several 100\$ only yield 10m relative accuracy positions.

Nevertheless, augmented accuracy communication satellite systems, such as EGNOS, WAAS and Omnistar may be used in some parts or all over the globe to permit positioning with simple receivers to precisions in the range of several dm to about 5m.

This makes older methods of positioning, such as triangulation or traversing irrelevant, unless reception of GNSS signals is inhibited due to high buildings, trees or power lines. In that case GNSS receivers must be used in combination with total stations.

Digital Aerial Imagery

The era of aerial photography on film, initiated during World War I in 1915 has ended. Kodak and Agfa have stopped to deliver new aerial films. Digital cameras were first introduced in the consumer market, but specialized high resolution systems followed. Aerial frame cameras with CCD arrays extended over limited areas became introduced by Intergraph-Zeiss Imaging with the DMC camera or by Microsoft-Vexcel with the Ultracam camera series. In competition to the frame cameras, CCD line scan cameras have been introduced by Leica with the ADS40 and ADS80 scanners, which had proved successful from space before. Now that both Leica and Intergraph are part of Hexagon, the competition has stopped. Line scanners have

probed to be more beneficial for large area orthophoto generation, while aerial frame cameras are preferred for photogrammetric digital line mapping.

In addition to the cameras mentioned, a great number of other manufacturers have provided digital cameras with somewhat less performance. This performance, however, is still far better than that of old film cameras, as independent comparative tests have shown (e.g. by the German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation).

Several of these cameras can also be combined for vertical and oblique uses (e.g. Pictometry) applicable for façade inclusion in city modeling.

Even panoramic cameras have been made digital with the Visionmap A3 (Israel), which permits to acquire super large frames, enabling 3 times the productivity of standard frame cameras.

High Resolution Imaging Satellites

The development of satellite technology since Sputnik in 1957 has been very rapid. Landsat 1 became the first remote sensing satellite with a global coverage in 1972 with a ground sample distance GSD of 80m. Spot 1 in 1986 was the first operational mapping satellite with 10m GSD. The Indian satellites IRS 1C and 1D followed in 1997. In 1999 Ikonos was launched in the USA with 1m GSD. This was followed by Quickbird in 2002 with 0.6m GSD, in 2007 and 2008 by World View 1 and GeoEye 1 with 0.5m GSD. Even 0.25m GSD satellites have been announced (GeoEye 2).

What is equally significant, is that this development is not limited to US satellites, but that several other nations now launch high resolution satellites with 2.5m GSD or better, such as: Taiwan (Formosat 2, 2m GSD in 2004), India (Cartosat 1, 2m GSD in 2005; Cartosat 2, 1m GSD in 2007), England (Topsat, 2.5m GSD in 2005), Japan (Alos, 2.5m GSD in 2006), Israel (EROS 1B, 1m GSD in 2005), Russia (Resurs DK1, 1m GSD in 2006), Korea (Kompsat, 1m GSD in 2006), Thailand (Theos, 2m GSD in 2008), Nigeria (Nigeriasat, 2.5m GSD in 2008), Dubai (Dubaisat, 2.5m GSD in 2009), China (ZY3, 2m GSD in 2011).

Another advance was the capability to permit changing view directions from the satellite. Previously SPOT permitted this by a slow movement of a rotatable mirror. With new satellites, such as GeoEye fast rotations of the entire satellite are now possible under star tracker control.

High resolution satellite imagery therefore has become competitive with respect to aerial surveys at medium and small scales.

Stereo Image processing Software

The early attempts of inefficient automatic stereo image processing, limited by computer hardware, carried out at IBM in 1965 (John Sharp) have now led to efficient commercial matching software (Trimble-Inpho, Leica-Erdas, Intergraph, SocetSet and Racurs). This software now permits a semi-automatic creation of digital surface models DSM from stereo imagery.

An even more efficient automatic image processing algorithm has been introduced by “Pixel Factory” of EADS, and perhaps also by Microsoft-Vexcel Ultramap.

Radar and Laser Scanning

Laser scanning, which has become operational, is not the first active sensor use for geoinformatics. Since the 1960's airborne radar has been operated from aircraft. The development of the synthetic aperture radar SAR has improved the radar resolution for use in aircraft (GEMS) and on satellites (TerraSar X and Tandem X). Radar applications are a useful option, in case meteorological conditions prevent optical imaging. For mapping radar applications are generally limited to small scale. However, interferometric applications have created new possibilities for change detection of the terrain with high accuracy.

Active sensor technology at large scale has been developed in 3 fields using lasers:

- Airborne laser scanning
- Terrestrial laser scanning
- Mobile laser scanning

Airborne laser scanners have succeeded to become an excellent tool for the survey of digital elevation models with about double the accuracy, which can be obtained by photogrammetry from the same flying height.

Moreover, in forested terrain, lasers have become successful in penetrating the foliage, so that laser returns can be received generally from the top and the bottom of vegetation, giving the opportunity to derive digital surface models (DSM) for the top of vegetation or buildings and digital terrain models (DTM) relating to the ground surface.

Terrestrial laser scanning has proved itself very suitable for the survey of engineering objects and for objects of cultural heritage.

Mobile laser scanning (in combination with optical images from cameras) has become a tool for the survey of street facades and street furniture.

Computer Technology

Perhaps the most important impact on the development of geoinformation technology has been the growth of computer tools themselves, characterized by what is usually referred to as “Moore's Law”. Gordon E. Moore, a co-founder of Intel empirically described the performance of computers and the miniaturization of its components (the number and size of transistors). He found in 1965 that computer performance grew at an exponential rate. This performance continued to grow exponentially from 1971 onward to 2011:

In 1971 the first microprocessor, the Intel 4004 was produced with 2250 transistors with 10µm PMOS technology;

In 1985 the 386TM microprocessor with 27500 transistors was introduced with 1.5 µm CMOS technology;

In 2007 the CoreTM multicore processor was created with 45nm technology.

The Pentium4 Processor now has more than 100 M transistors.

In 2011 tri-gate transistors were introduced again increasing the number of transistors which can be accommodated per area, reaching 200B transistors per processor.

This resulted in a doubling of computer performance every 18 months, which is predicted to go on until 2013, and from then on every 2 years for at least the next decade.

But of equal importance now is also the speed of networking between computers, which in recent years has doubled every 9 months.

The stages have been:

GPRS	114Kbps
Bluetooth	723Kbps
ISDN	0.144 to 1.544 Mbps
Ethernet	10Mbps
glass fiber	10Gbps

During the last 10 years the computer performance has increased 60 times, and the networking capability 4000 times.

This means we are able to tackle tasks we could not do 10 years ago.

Data Base Technology

Linked with the capabilities of computer performance are the software aspects of database technology. While computer storage is no more a handicap, faster data access from the data base can now be achieved by indexing.

Geometric representation in 2D, 2.5D or 3D has been developed with line graphics, prevalent in CAD systems (Autocad, Microstation). This took care of mapping and design needs.

Analysis capabilities have been added by GIS Systems with relational data bases, which permitted to store geometry with topological relations in 2D (ESRI ArcGIS, Oracle Spatial). These GIS systems permitted to establish geodatabases with mapping and analysis capabilities.

The competition for the efficient vendor developed systems comes from the Open Source Community (e.g. GRASS, PostGre).

Web Technology

Organizations in charge of administering data bases must be concerned to disseminate their data content in whole or in part. This has led to the development of geoportals for viewing the data content and for extracting the relevant graphic and non graphic information.

Geoportals will only work efficiently within a fast computer network. Special concern must be given to the access conditions within the network and if charges for data are to be made, there must be an accounting system included.

Mobile Communication Technology

The latest trend to make interactive graphical and non-graphical information publicly available is through telecommunication networks using smart phones (I-phone) or tablets (I-Pod).

With new data providers, such as Google Earth, Google Maps or Bingmaps such devices have been able to integrate the geoinformation capabilities:

1. A mobile GIS can integrate aerial images and satellite images
2. It can display and superimpose available and augmented maps
3. It can incorporate address searches and street views
4. It can act as navigation device
5. It can incorporate 3D views and 3D city models

Conclusion

1. After 134 years of existence of the International Federation of Surveyors and after 101 years of existence of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, and after 52 years of existence of the International Cartographic Association geoinformatics is an independent discipline providing spatial information to the society.

2. We need continuous input from sciences and other engineering disciplines, but the continued growth in computer performance guarantees our own continued growth.

3. The society needs our services, which only we can provide because of our professional interest and concern.

What are the problems geoinformatics is facing? These are more sociological than technical in nature:

1. Do we have political support
2. Do the laws protect our professional status?
3. What esteem do we have in society as engineers?
4. The answer is that we have to get engaged in social, political and ultimately ethical issues.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЕНИЕ В КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЯХ

Готтфрид Конечный

Ганноверский университет им. Лейбница, Nienburger Str.1, D-30167 Ганновер, Германия, засл. профессор, почетный профессор СГГА, тел/факс: 0049-511-762-2483, e-mail: konecny@ipi.uni-hannover.de

Геоинформационные технологии предлагают превосходные инструментальные средства для решения проблем, связанных со стихийными бедствиями. Бедствия нельзя предотвратить, но они могут быть прогнозируемы, наблюдаемы и оценены. Уже доказана эффективность дистанционного зондирования.

Для решения проблем, связанных с оказанием помощи при стихийных бедствиях, предлагаются две модели:

1. Государственное агентство, имеющее доступ к геоданным, включая своевременные спутниковые изображения, сильную финансовую, техническую и организационную базу.
2. Для стран, не имеющих такую инфраструктуру, отдел ООН по вопросам космического пространства вместе с международными космическими агентствами предлагает быстрый и свободный доступ к данным по оказанию помощи при стихийных бедствиях.

Ключевые слова: стихийные бедствия, чрезвычайные ситуации, наводнения, цунами, космические агентства, спутниковые изображения.

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES AND DISASTER MANAGEMENT

Gottfried Konecny

Leibniz University Hannover, Institute for Photogrammetry and Geoinformation, Nienburger Str.1, D-30167 Hannover, Germany, Emeritus Professor, Honorary Professor of SSGA, office/fax: 0049-511-762-2483, e-mail: konecny@ipi.uni-hannover.de

Geoinformation technologies offer excellent tools for problems associated with disasters. Disasters are unavoidable, but they may be predicted, monitored and assessed. Satellite remote sensing has proved to be an effective tool.

For the problems associated with disaster relief two models have proved to be effective:

1. A national agency, which has access to geodata including timely satellite images and possesses strong financial, technical and organizational capabilities
2. For those countries, which lack such an infrastructure, the United Nations Office of Outer Space Affairs in liaison with the international space agencies offers voluntary quick data access for disaster relief.

Key words: disasters, emergencies, floods, tsunamis, space agencies, satellite images.

Introduction

As a representative of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing I consider myself part of the science oriented and technical geoinformation community, which in other parts of the world is also called geoinformatics or geomatics. I follow the rapid technological advances and think about opportunities in

my professional field to apply these technologies to combat urgent problems of society.

One of these problem areas is disaster management. Natural and human caused disasters frequently occur, and the technologies in my field offer opportunities, not to prevent disasters, but to make their impacts less severe for society.

Possible Actors in Disaster Management

Disaster management may rely on scientific information to predict disasters and their possible mitigation, but it is a matter of management activity requiring decisions and the financial, technical and political infrastructure to become effective.

My first encounter as a member of the geoinformation community with disasters was with the floods of the river Oder (Odra), which severely affected the neighboring countries of Poland, the Czech Republic and Germany. At that time flood mitigation was handicapped by the fact, that separate country administrations did not manage a joint action. As members of the European Association of Remote Sensing Laboratories EARSeL some Polish, Czech and German representatives met and made a joint proposal to the European Union for a study on how the use of remote sensing could improve the coordination between the countries to predict, monitor, mitigate and assess damages of multinational flood in that region. The proposal was considered as excellent, but it was given to the European Joint Research Center for implementation, and we did not become involved. We were not told the reasons for the rejection of our proposal, but we guessed, that we would have needed political power to implement such a proposal, which the scientific community did not have.

Through EARSeL I had a second encounter for disaster management via the Council of Europe as a technical reviewer for the support given to the Russian Emergency Ministry EMERCOM. I was impressed by my visits to the Ministry. They had own meteorological monitoring systems using NOAA and Russian meteorological satellites. They had access to detailed map content in digital form from the former Roskartografia. And they conducted impact analyses for possible disaster situations. For mitigation of actual disasters they were directly linked with the Russian Army.

Of interest were also the EMERCOM studies on the frequency of disasters for different regions of the Russian Federation. It was documented, that at least half of the actual disasters in Russia were caused by humans. Another interesting aspect was the issue of training manuals for disaster relief to the public.

To me this appeared to be the ideal model for disaster prediction, preparedness and mitigation for a large country. This is a capability, as history proved, which was not available in the USA during the New Orleans flood and in Japan for the recent Tsunami.

It was interesting to observe, that for the Indian Ocean Tsunami, a few years before, India refused to accept international aid, since it was felt there, that there exist own national capabilities for the mitigation of the disaster. Sri Lanka, Thailand and Indonesia did not have the infrastructure to do it without international help.

This apparently led to the start of international efforts. Germany, for example, financed a sophisticated Tsunami information system for Indonesia. But at UN

Conferences it was only the Germans, who would talk about it, and not the Indonesians, which most likely could not maintain such a complex system.

But more effective, than bilateral efforts between two countries was the approach via the United Nations. The UN Office for Outer Space Affairs in Vienna has managed to organize a very effective voluntary collaboration with the World's Space Agencies. When UNOOSA declares a sudden catastrophic event a disaster, then the Space Agencies will target space data acquisition or rapidly prepare image maps for disaster relief.

As one of the earth observation experts at the German Space Agency DLR in Oberpfaffenhofen, Dr. Reinartz, is a Honorary Professor and lecturer at the University in Hannover, we are continuously informed about their involvement in aiding disaster relief, such as for the Indian Ocean Tsunami, the New Orleans Flood, the Wenchuan Earthquake in China, the Haiti earthquake, the Fukushima disaster in Japan and others.

Conclusion

Both models for disaster relief, at EMERCOM and through UN-OOSA and the International Space Agencies are highly effective. In the first model (EMERCOM) geoinformation technologies are used as an integrated work flow package. This is needed for the entire chain of relief operations in the disaster areas.

The second model (UN-OOSA) concentrates on the globally applicable part of disaster monitoring through timely space data acquisition, which is technologically not accessible to most third world countries.

ПЛАНИРОВАНИЕ АЭРОСЪЁМКИ В ЭПОХУ ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ ИЛИ ОТ ПОПЕРЕЧЕНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ К УКЛОНУ ЗДАНИЙ

Юрий Григорьевич Райзман

Компания Visionmap, ул. Менахем Бегин, 7, Рамат-Ган, 52681, Израиль, зам. директора по науке, тел. +972 3 6091042, e-mail: yuri@visionmap.com

В статье приводится новый подход к планированию аэросъёмки в эпоху цифровой фотографии.

Ключевые слова: аэросъёмка, ортофотоплан, цифровая камера.

FLIGHT PLANNING FOR THE DIGITAL ERA

Yuri Raizman

Visionmap Ltd, 7 Menachem Begin Rd. Ramat-Gan. 52681, Israel, VP EMEA & Chief Scientist, tel. +972 3 6091042, e-mail: yuri@visionmap.com

The article describes a new approach for flight planning for the digital era.

Key words: aerial survey, orthophoto, digital camera.

In the era of analog aerial surveys, which spanned almost the entire twentieth century, aerial cameras were standardized, as were the sizes of their images¹. Parameters such as forward and side overlap between images and strips, and the focal length of the camera were used to ensure proper aerial survey execution and assure the quality of orthophoto production.

With the introduction and growth of digital aerial surveying in the past decade, however, the situation has changed. A large variety of airborne cameras with different frame sizes, CCD resolutions and focal lengths of lenses is available in the aerial survey market. As such, a new approach is needed to specify standards and ensure quality.

This article presents an innovative universal approach to aerial survey planning and orthophoto production that is relevant and appropriate for the digital photogrammetry era.

Fig. 1 shows a typical aerial survey flight planning diagram.

¹ Standard images are 24 x 24 cm or 18 x 18 cm. Focal lengths for 24 x 24 cm images are 150, 210 and 300 mm. Focal lengths for 18 x 18 cm images are 70, 100, 140, 200, 250 and 350 mm.

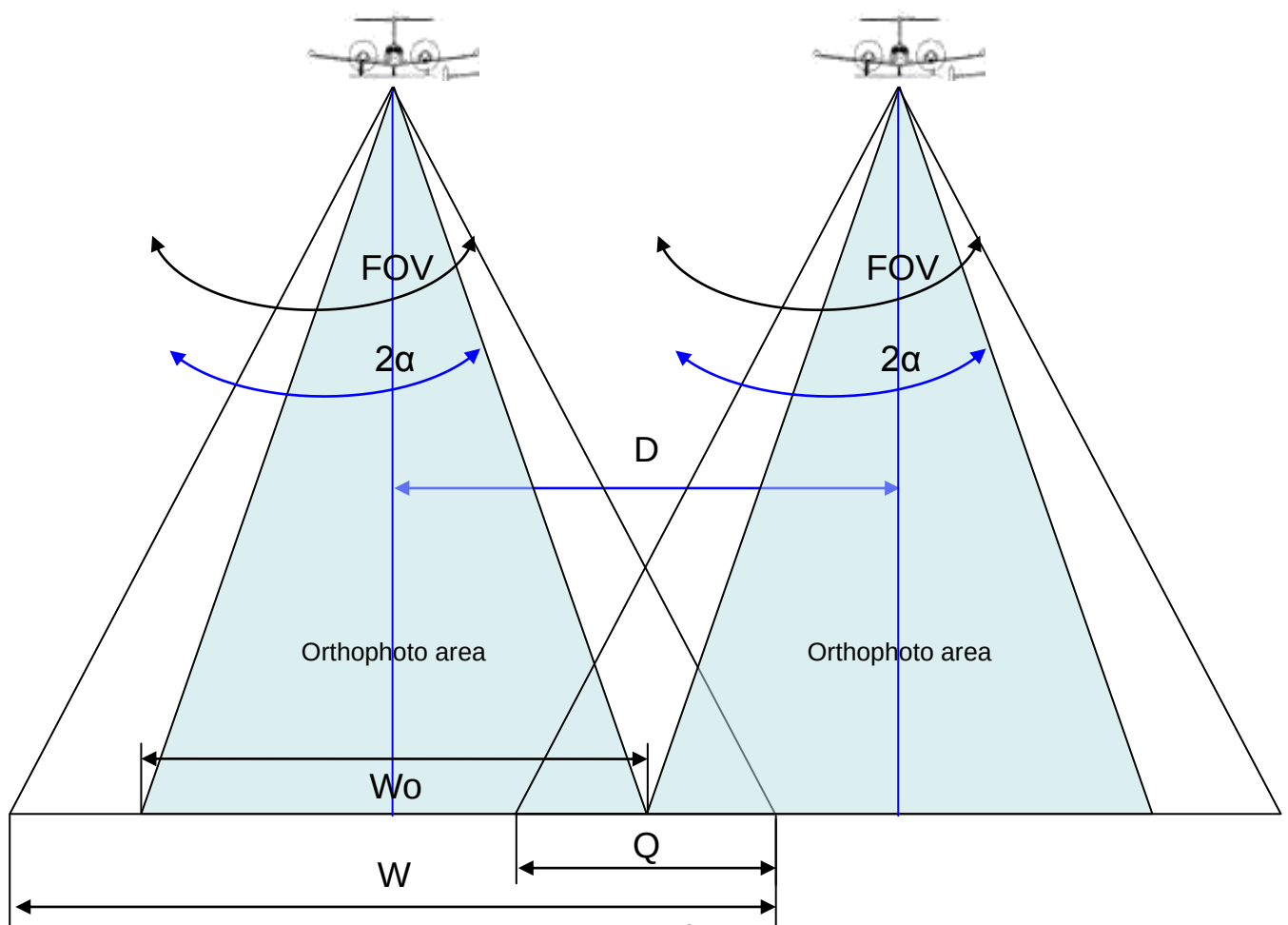


Figure 1. Aerial survey flight planning

Variables in the diagram are as follows:

FOV	Camera field of view across the flight line, corresponding to W distance on the ground.
2α	Permissible orthophoto angle across the flight line, corresponding to W_o distance on the ground. Only this part of the image is used for orthophoto production.
D	Distance between flight lines
Q	Side overlap
2λ (not shown)	Permissible orthophoto angle along flight line. This angle is specified by forward overlap. From the orthophoto quality point of view, 2λ must be equal to or less than 2α . In practice, 2λ is generally less than 2α .

This scheme, in principle, is valid for all types of cameras, with only parameter values varying with the camera type.

Fig. 2 presents the impact of permissible orthophoto angle on building leaning and occlusion area on orthophoto.

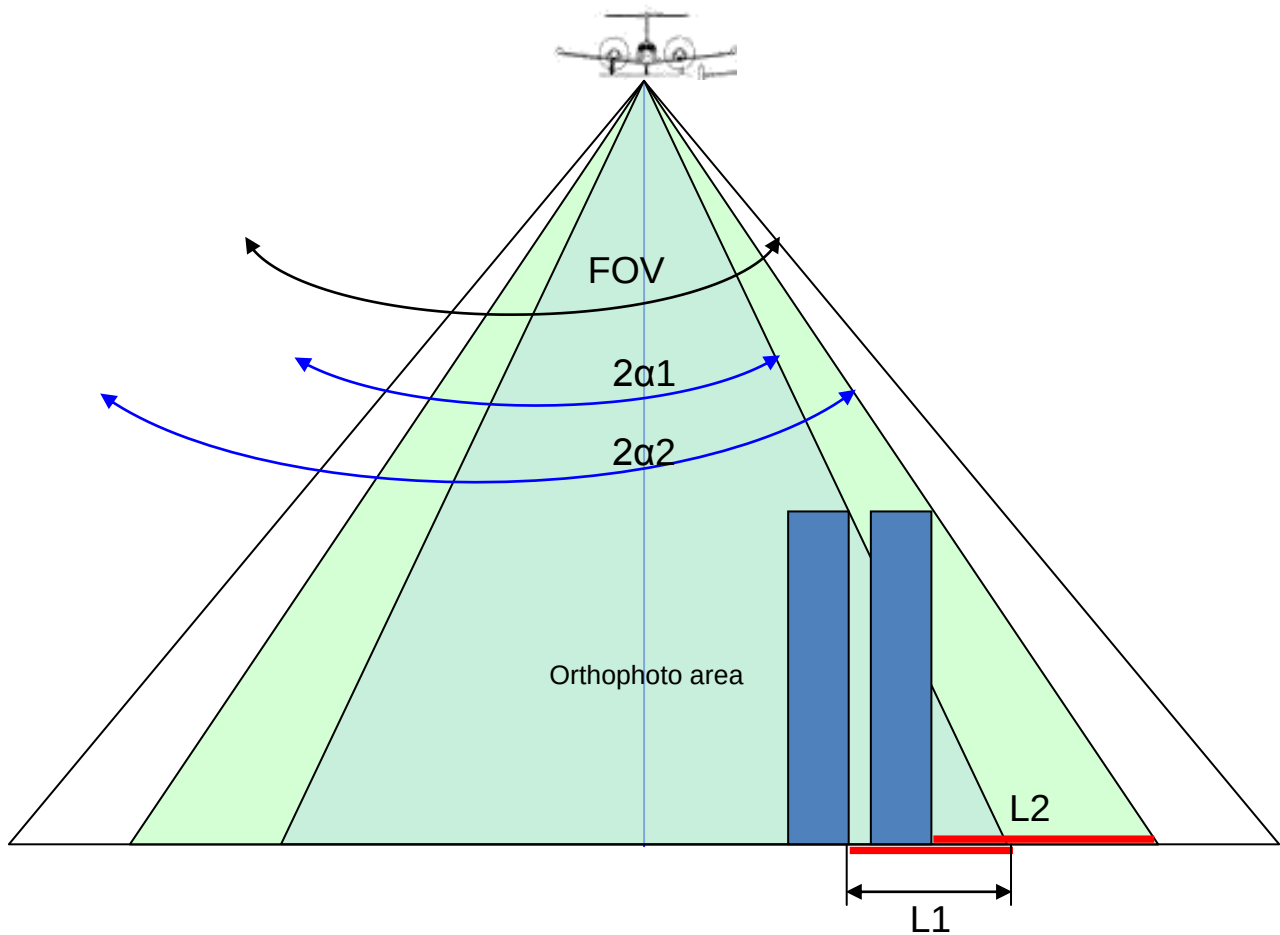


Figure 2. Building leaning and occlusion area on orthophoto

In this diagram:

- FOV** Field of view, generally, $27^\circ - 110^\circ$
 2α Permissible orthophoto angle
L1, L2 Occlusion

$$BL \text{ (Building leaning)} = \tan(\alpha) \cdot 100\%; \quad 2\alpha_2 > 2\alpha_1; \quad L_2 > L_1;$$

As the diagram illustrates, a larger orthophoto angle results in greater building leaning and more occluded area on the edge of the image. In fact, the permissible angle and consequently, the building leaning are the main geometric parameters defining the metric quality and readability of the orthophoto.

In the following discussion, we will take the recommended values for side and forward overlap for analog cameras as a given. Based on experience and standard procedures, cameras with a focal length of 300 mm are recommended for urban areas, while for rural areas, recommended focal length is 150 mm. The forward overlap P in both cases is expected to be 60%. Side overlap Q is set to 25-30% for rural areas and 35-40% for urban areas. The orthophoto is constructed from a part of the image (W_o) that is bounded by cut-lines that pass around the middle of the overlap area.

When comparing between digital cameras, it is preferable to utilize pixels, rather than millimeters or centimeters as the standard unit of measure. A standard image from an analog camera that is scanned with a resolution of 15 microns will have an

equivalent frame size of 16,000 by 16,000 pixels. A focal length of 10,000 pixels corresponds to the 150 mm length for rural areas and 20,000 pixels to the 300 mm focal length for urban areas. The relationship between the permissible orthophoto angle and the overlap is calculated as follows:

$$[1] \quad 2\alpha = 2 * \operatorname{atan}\left(Lq * \frac{1-Q}{2F}\right)$$

$$[2] \quad 2\lambda = 2 * \operatorname{atan}\left(Lp * \frac{1-P}{2F}\right)$$

Where:

2α , 2λ - permissible orthophoto angles across and along flight lines, respectively

Q, P - side and forward overlaps

Lq, Lp - frame size in pixels across and along the flight line

F - focal length in pixels

Using these formulas, we have calculated the values for permissible orthophoto angle and building leaning for different cameras based on image parameters from the cameras and commonly used side and forward overlap values. The results are shown in Table 1:

Table 1. Orthophoto angle and building leaning for different cameras

Camera	A3	UC EAGLE		UC-Xp	UC-Xp wa	DMCII 250	ADS 80	RC-30 / RMK-TOP	
Focal length (mm)	300	210	80	100	70	112	62.77	150	300
Pixel Size (μ)	9	5.2	5.2	6	6	5.6	6.5	15	15
Focal length (pix)	33,333	40,385	15,385	16,667	11,667	20,000	9,657	10,000	20,000
Frame size cross track (pix)	62,000	20,010	20,010	17,310	17,310	17,216	12,000	16,000	16,000
Frame size along track (pix)	8,000	13,080	13,080	11,310	11,310	14,656	7,530	16,000	16,000
Frame area (Mpix)	496	262	262	196	196	252	90	256	256
FOV across track	110°	27.8°	66.1°	54.9°	73.1°	46.6°	63.7°	77.3°	43.6°
FOV along track	13.4°	18.4°	46.1°	37.5°	51.7°	40.2°	42.6°	77.3°	43.6°
Forward overlap	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Permissible angle (2λ)	5°	7°	19°	15°	22°	17°	18°	35°	18°
Building leaning at λ	5%	6%	17%	14%	19%	15%	16%	32%	16%
Side overlap	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
Permissible angle (2α)	80°	17°	43°	35°	48°	29°	41°	51°	27°
Building leaning at α	84%	15%	39%	31%	45%	26%	37%	48%	24%
Side overlap	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Permissible angle (2α)	93°	21°	52°	43°	58°	36°	50°	62°	33°
Building leaning at α	105%	19%	49%	39%	56%	32%	47%	60%	30%

The table indicates that for the same forward and side overlap values, the permissible orthophoto angles and consequently, building leaning and occluded areas vary greatly among the cameras.

For a standard 60% forward overlap, for instance, building leaning ranges from 5% to 32%. For side overlap of 40%, building leaning ranges between 15% - 84% among the various cameras, with an even greater range of 19% to 105% building leaning for 25% side overlap.

Smaller building leaning indicates that the “usual” orthophoto approaches more closely the "true" orthophoto, resulting in better readability and superior metric quality of the product.

In Table 2, we calculate the side overlaps for the same set of digital cameras using building leaning values of 60% and 24%, which correspond to 25% and 40% side overlap for analog cameras RC-30 and RMK-TOP in the table above.

For building leaning of 24%, the side overlap values for digital cameras vary between 3% and 80%. An aerial survey with building leaning of 60%, which is typical for an open flat-plain area, can be conducted by only three of the cameras, the VisionMap A3 , RC-30 and RMK-TOP with $F = 150$ mm. Due to their relatively small fields of view, the other cameras do not allow aerial survey with these parameters.

Table 2. Forward and side overlap according to building leaning

Camera	A3	UC EAGLE		UC-Xp	UC-Xp wa	DMCII 250	ADS 80	RC-30/ RMK-TOP	
Focal length (mm)	300	210	80	100	70	112	62.77	150	300
FOV across track	110°	27.8°	66.1°	54.9°	73.1°	46.6°	63.7°	77.3°	43.6°
Required building leaning (urban area)	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%
Permissible angle (2α)	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Side overlap	80%	3%	63%	54%	68%	44%	61%	70%	40%
Required building leaning (rural area)	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Permissible angle (2α)	62	62	62	62	62	62	62	62	62
Side overlap	60%	-142%	8%	-16%	19%	-39%	3%	25%	-50%

For each of the cameras we assessed, we created a flight plan for an open area using forward overlap of not less than 60%, side overlap not less than 25%, ground resolution of 25 cm, permissible orthophoto angle of not more than 60° and aircraft ground speed of 250 knots:

Table 3. Flight plan calculation

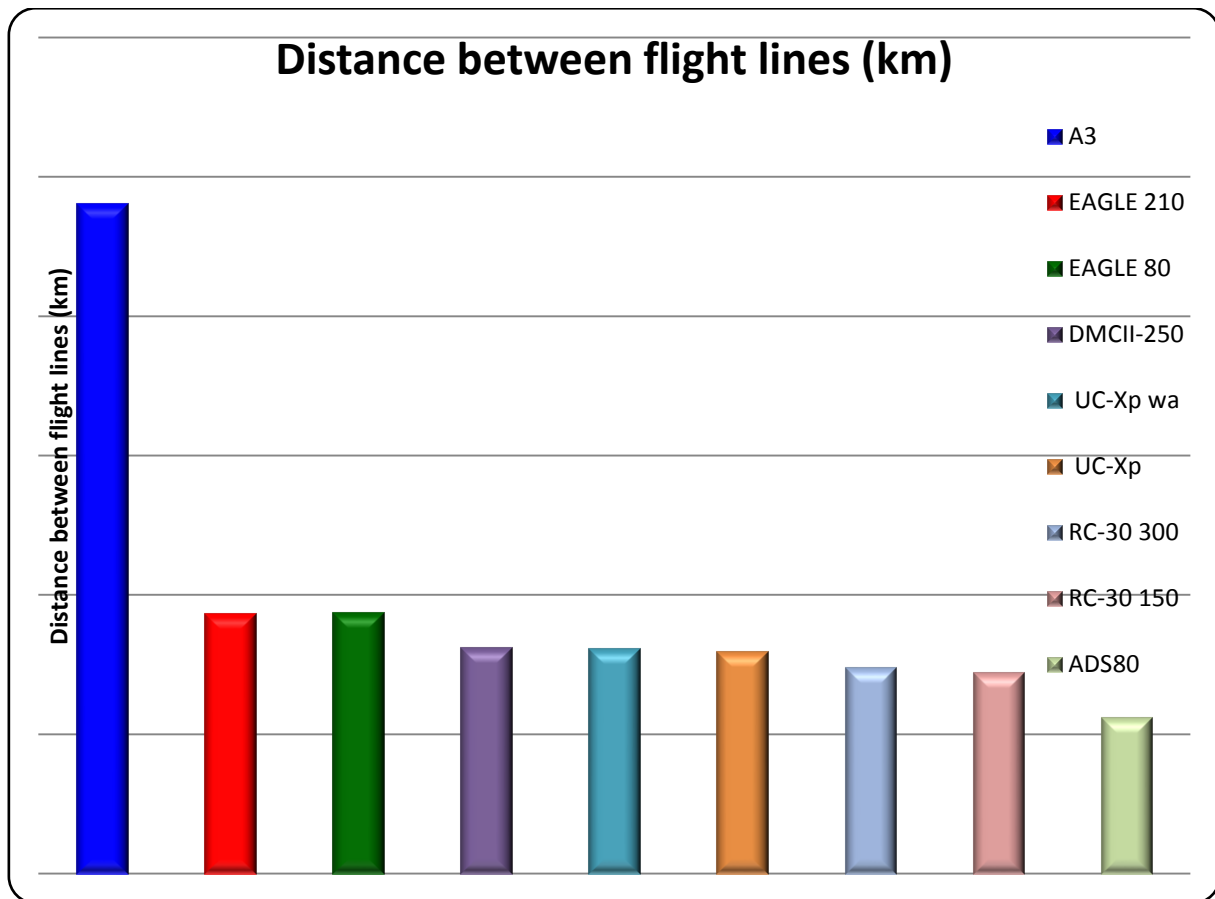
Camera	A3	UC EAGLE		DMC II 250	UC-Xp wa	UC-Xp	RC-30/RMK-TOP		ADS80
Focal length (mm)	300	210	80	112	70	100	300	150	62.77
FOV across track	110°	27.8°	66.1°	46.6°	73.1°	54.9°	43.6°	77.3°	63.7°
FPS (frame/sec)	7.40	0.56	0.56	0.59	0.50	0.74	-	-	-
GSD (m)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Flight altitude (m)	8,333	10,096	3,846	5,000	2,917	4,167	5,000	2,500	2,414
Forward overlap	60%	93%	93%	94%	91%	94%	60%	60%	60%
Side overlap	59%	25%	25%	25%	25%	26%	26%	28%	25%
Permissible angle (2α)	60°	21°	52°	36°	58°	42°	33°	60°	50°
Frame area (sq. km)	63.51	16.36	16.36	15.77	12.24	12.24	16.00	16.00	5.65
Distance between Flight Lines (m)	9,623	3,742	3,752	3,249	3,233	3,199	2,962	2,887	2,251

The elements of Table 3 are calculated as follows:

1. Forward overlap at an affordable frame rate (FPS) and the specified aircraft speed
2. Side overlap and permissible orthophoto angle are linked and depend on the field of view (see Figure 1). Side overlap cannot be less than 25%, while the permissible angle of aerial photography cannot be greater than 60°.

As highlighted in red in the table, only three cameras (A3, RC-30 and RMK-TOP) achieve the maximum permissible orthophoto angle of 60°. A fourth camera, UC-XP, came close to reaching this angle.

By placing the same geometric constraints on all aerial surveys, we can accurately compare between existing cameras on the market. The following graph summarizes the distance between flight lines from Table. 3.



Conclusions

Using parameters such as forward and side overlap to specify orthophoto production is no longer relevant for aerial surveys to be carried out by today's digital or analog cameras. Due to the wide range of frame sizes, focal lengths and CCD resolutions, quality and readability are not determined by overlap. By continuing to use these parameters to specify orthophoto production, we condemn ourselves to measurements that are inaccurate, and to poor quality and readability of the orthophoto.

To ensure that orthophotos of the same quality will be obtained from various suppliers, permissible orthophoto angle or building leaning parameters should be specified rather than forward and side overlap.

A thorough understanding of the geometric principles of flight planning allows users of orthophoto services to accurately analyze the performance of available cameras, compare their performance, and ultimately, make the right choice for each individual project. This careful assessment will allow users to conserve material resources and save time.

OPENPHOTOGRAMMETRY – КОНЦЕПЦИЯ СТРУКТУРЫ ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЫ ОБМЕНА РЕЗУЛЬТАТАМИ ИССЛЕДОВАНИЙ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

Евгений Левин

Мичиганский технологический университет, Институт технологии, 1400 Townsend drive, Хоутон MI 49931, США, зав. кафедрой прикладной геодезии, доктор наук, сертифицированный фотограмметрист, тел.+1 (906)487-2446, e-mail: elevin@mtu.edu

Гай Хемброфф

Мичиганский технологический университет, Институт технологии, 1400 Townsend drive, Хоутон MI 49931, США, Хоутон, США, зав. кафедрой администрирования компьютерных сетевых систем, профессор, тел.+1 (906)487-3248, e-mail: hembroff@mtu.edu

В статье описываются структурные и организационные принципы веб-портала для обмена и апробации фотограмметрических моделей сенсоров. Ученые фотограмметристы всего мира смогут обмениваться результатами своих работ в форме методов и алгоритмов с помощью описываемого портала. Операции системы будут также иметь академические применения в геопространственном образовании.

Ключевые слова: фотограмметрия, модели сенсоров, системная совместимость, киберинфраструктуры.

OPENPHOTOGRAMMETRY – CONCEPT OF OPEN-SOURCE FREE COLLABORATIVE FRAMEWORK

Euegene Levin

Michigan Technological University, School of Technology, 1400 Townsend drive, Houghton MI 49931, Chair of Surveying Engineering, Doctor, Certificated Photogrammetrist, tel. +1 (906)487-2446, e-mail: elevin@mtu.edu

Guy Hembroff

Michigan Technological University, School of Technology, 1400 Townsend drive, Houghton MI 49931, Chair of Computer Network System Administration, Associate Professor, tel. +1 (906)487-3248, e-mail: hembroff@mtu.edu

The paper describes a design concept of framework and web-portal for photogrammetric sensor models exchange and evaluation. Photogrammetric imaging scientists worldwide will be able to share results in form of methods and algorithms via OpenPhotogrammetry. Activity will also impact geospatial education.

Key words: Photogrammetry, Sensor Modeling, Interoperabilty, Cyberinfstructures.

SUMMARY

In recent years, the field of Geographical Information Sciences has greatly benefited from the dramatic increase in amount and availability of high-quality geospatial imagery. However, remotely sensed imagery cannot be immediately integrated into cyberinfrastructures. This is due to fact that raw imagery obtained from satellites, UAVs, and non-metric terrestrial cameras needs to be processed

photogrammetrically before further deployment. Typically photogrammetric processing encompasses: sensor calibration, georeferencing based on rigorous sensor model or rational polynomials, triangulation with ground control densification, rectification and/or orthorectification, 3D feature and DEM extraction; and requires use of specialized commercial software licenses. Online photogrammetric processing frameworks do not exist. Current paper describes a structure of free open-source worldwide-opened consortia and geospatial web-portal challenging photogrammetric processing of remotely sensed imagery.

1. INTRODUCTION

Need in timely and interoperable photogrammetric image processing is recognized by geospatial science and technology. Some influential research papers [Clark et al, 2005], [Lillesand et al, 2000] recognizes need for changes in geospatial information science and technology including needs in open-source interoperable research frameworks [Longley 2002]. This indicates that increased geospatial tools interoperability will help in geography and other humanity research success.

The most fundamental approach to the development of open and free photogrammetric applications for students and researchers is maintained by ISPRS Computer Assisted Teaching Contest group [CATCON]. Few of these systems are available for online use, like [OpenDragon] and Learning Digital Photogrammetry [LDP]. However, those systems a) are mostly oriented for teaching and learning rather than research, and thus deploy a fixed set of test-images without the possibility to upload new images; and b) deals mostly with 3D point-clouds generation and remote sensing then with photogrammetric sensor modeling. Image-independent functionality, but in standalone mode, is provided by Insight3D open-source free system [Insight3D]. GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System) freeware with powerful remote sensing functionality is used by many academic institutions worldwide [GRASS].

Very interesting web-based project for close-range cases entitled Architectural Photogrammetric Network tools for education [Arpenteur] has multiple capabilities. It was developed deploying the Java Development Kit (JDK) and based on the JAVA virtual machine 5.0 and Java Advanced Imaging (JAI) library. Unfortunately, project has been inactive since 2008. Google Building Maker for Google Sketchup [GBM] represents a very useful example for integration of some photogrammetric data obtaining functionality into open geospatial system.

The most useful for further developments open-source resources include: Python Photogrammetry Toolbox [PHT], Stereo Photogrammetry Extractor [SPE] and Basic Image Algorithms library [BIAS].

On cyberinfrastructures [NEC], [NEC] side one of the most recent NASA collaborative network developments is a NASA Earth Observing System (EOS) Higher-Education Alliance (NEHEA) GeoBrain project [Chen et al 2011], [Deng and Di, 2010], [Di 2003]. Development of open-source web-portal can be integrated and be considered as a data obtaining service for such cyberinfrastructures. The challenges of “OpenPhotogrammetry” are:

- Accelerate deployment of remotely sensed geospatial datasets in GIS and virtual 3D globes driven decision support system by free photogrammetric processing services;
- Enable access to photogrammetric imaging research for educational communities and students from many parts of the world where average price around \$10,000 [Petrie]per photogrammetric software license is not affordable;
- Simplify communication and collaboration of photogrammetry researchers by deployment of ubiquitous network services such as LinkedIn, Facebook, Google+, etc.

2. PHOTOGRAMMETRIC SENSOR MODELS AND THEIR INTEROPERABLE DESCRIPTION PRINCIPLES

Deploying rigorous photogrammetric sensor modeling allows extracting the most accurate metrics from real-world geospatial images. For the establishing of “OpenPhotogrammetry” the following geospatial imagery types should be considered in general:

1. Images of metric cameras in central projection, allowing carrying out of standard interior orientation procedure with determination of principal point position, known principal focal distance, and sometimes known optical system distortions. That imagery may be acquired from terrestrial, manned/unmanned aerial and satellite platforms.
2. Images of non-metric cameras in the central projection, with unknown interior orientation parameters. Presently the digital still cameras of such non-metric type are widely distributed, especially from small-UAV.
3. The images received by various scanning systems, including space based. Mostly such imagery includes high-resolution satellite observation systems, such as Landsat, Ikonos, QuickBird, Spot etc, and also aerial scanning system such as Leica ADS line scanner
4. Geospatial imagery obtained as result of active scanning system (LIDAR, SAR, InSAR) data processing. Scanning point-clouds and data are obtained from terrestrial, aerial and satellite platforms.

Typical geometries of geospatial imagery scanners are shown on Fig. 1.

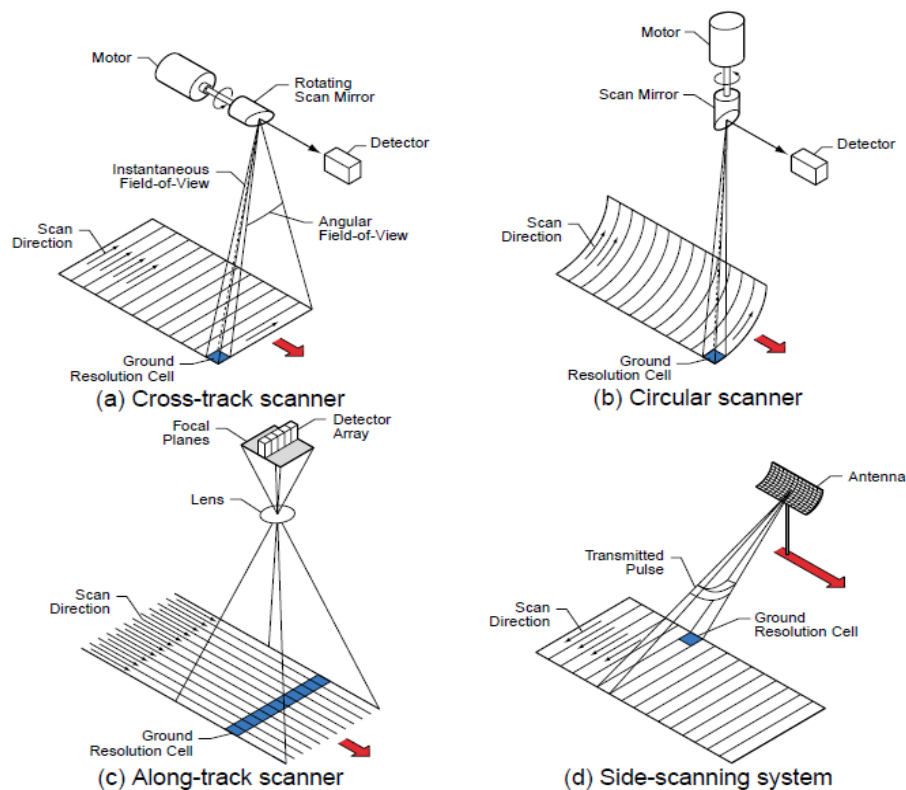


Figure 1 Geospatial scanning systems geometries and physical principles [Sabins, 1987]

“OpenPhotogrammetry” will operate objects representing different types of solutions for various sensors listed above. Sensor models for solutions can be separated in two categories: rigorous sensor models operating physical sensor parameters and generic mathematical models. The most popular of generic mathematical models is a rational function model [Di et al 2003]. A rational function is defined as a polynomial divided by a polynomial. Functions can be defined for algorithm fitting, with the independent variables being 1, 2, or 3-dimensional. The power of the rational functions can vary for each dimension as well as for the numerator and the denominator. Space Imaging Inc. and Digital Globe Inc. are replacing rigorous model parameters by rational polynomials coefficients (RPC) for IKONOS and QuickBird satellite imagery respectively. However, due to [Toutin,2000], [Grodecki 2001] processing scanning-type imagery such as IKONOS by means of rational function polynomials in practice produces results 4-5 times less accurate than processing based on rigorous geometrical models. Classical central projection model deploying six parameters of 3 projection coordinates and 3 rotation angles will work well for traditional metric cameras, but will not provide as good of results as for scanning type imagery. Research of sensor models which work for scanning type imagery and provide an accurate result is one of the major topics in today’s photogrammetric sensor modelling research. Open Geospatial Consortia [OGC] in compliance with Federal Geospatial Data Committee [FGDC] established multiple interoperable standards including the most important, for “OpenPhotogrammetry” sensor modeling markup language –SensorML [Botts 2005], [Chen et al, 2011]. To achieve mentioned above capability interoperable, incremental

and OGC-compliant photogrammetric imaging and sensors descriptions. These descriptions should allow geospatial researchers to modify existing sensor models and include their own sensor models into “OpenPhotogrammetry”. Fig. 2 outlines our initial XML-like object-oriented approach to photogrammetric sensor models descriptors.

```

< image G-Sat>
  < SensorML Compliant data>
    Vendor, Owner, Date Uploaded, Time, Date, Auxiliary data
  < SensorML Compliant data>

  <sensor Model>
    <Author>
      "Student Johnson"
    <Author>
    <Model Name>
      "Affine transformation"
    <Model Name>
    <Number and Names of Sensor Parameters>
      6, "a0", "a1", "a2", "b0", "b1", "b2"
    <Number and Names of Sensor Parameters>
    <ModelMath>
      "Raw=a0+a1*X+a2*Y;
      "Col = b0+b1*X+b2*Y;
    <ModelMath>
  <sensor Model>
* * *
< image G-Sat>

```

Figure 2. Sample of approach to photogrammetric sensor models interoperable description.

It is visible from Fig. 2, that the record for any sensor may support several sensor models developed by different researchers. Object-oriented structure is very important for establishment in the future knowledge base of sensors and sensor models that will be opened for queries by any free extension of SQL. It is also important to provide efficient parsers of photogrammetric sensor models and to build functionality controlled by an easy-to-use human-machine interface. The purpose of this interface is to allow selection of appropriate sensor model for teaching and/or research purposes with execution of ground control points measurements (if any) and accuracy estimation. Preliminary ideas of human-machine interface design are outlined on Fig. 3. When sensor model parameters are found, “OpenPhotogrammetry” software service will be able to perform image rectification functionality by combining DEM and source image. Given the opportunity to determine the sensor parameters for specific image or satellite scenes, it will be rational to build another functional capability, targeted mostly on geospatial students to manipulate with different views of the same terrain by re-sampling of orthoimage.

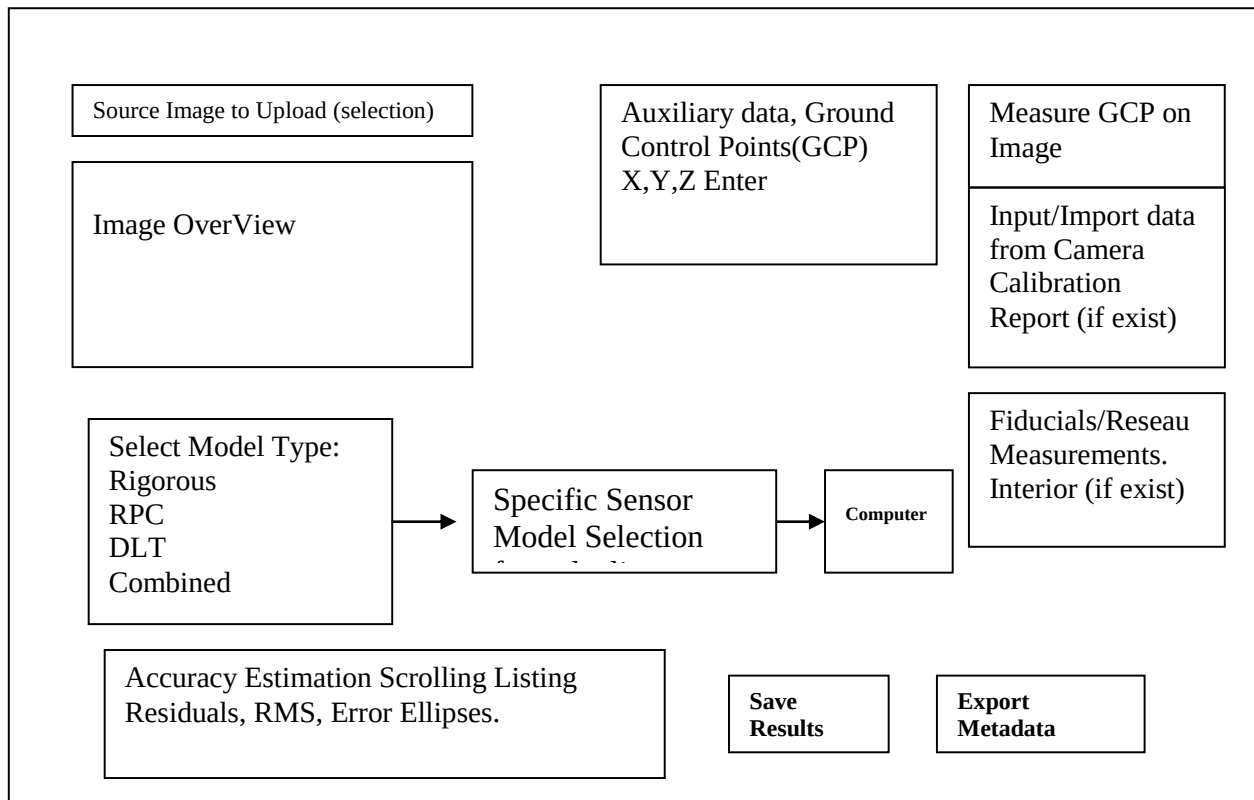


Figure 3. Initial Design of Sensor Model Manipulation Man-Machine Interface.

Initially this learning application is foreseen as working as demonstrated on Figure 4.

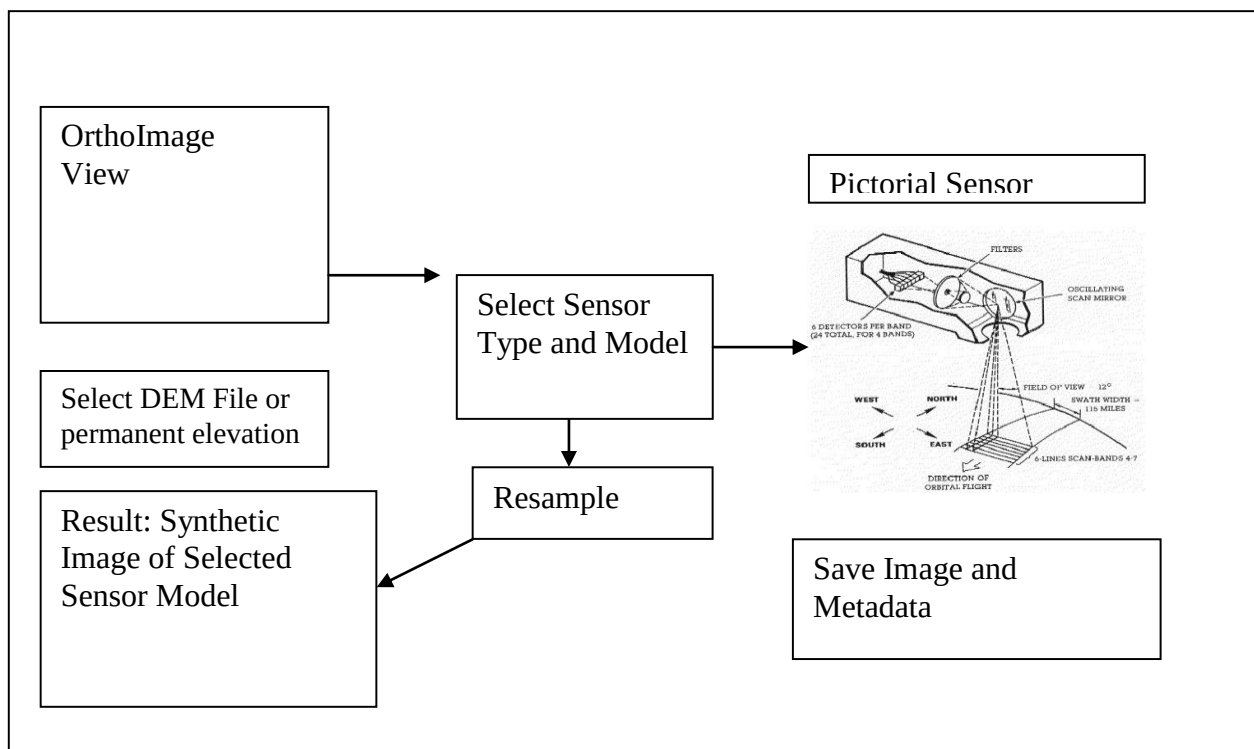


Figure 4. Initial design of OpenPhotogrammetry geospatial sensor model learning application

By means of the learning application, students will be able to generate various synthetic aerial and satellite imagery and learn from hands-on involvement about various sensor models and systems. The research value of the synthetic images and metadata generated by the application is the testing of new algorithms and sensor models. The advantage of synthetic images coupled with metadata is that all their parameters are known and modeled. Use of these images can help in verification of new sensor model methods, algorithms and software by direct comparisons of the results obtained with source data. In general, DEM is needed for learning “OpenPhotogrammetry” tools execution. It can be uploaded from various geospatial data warehouses when available. Otherwise DEM can be extracted from overlapped geospatial images which may require DSM generation mode development.

Multiple research problems have to be resolved in order to proof a feasibility of the outlined “OpenPhotogrammetry” workflow. As for any complex innovation, it is necessary to resolve several contradictory requirements: a) between openness of the system architecture and necessity to avoid breach of imaging vendors copyrights; b) between optimality of the multi-tier architecture and lack of internet connectivity and connection quality compatible with architecture in many developing countries; c) between interoperability and users-capability of photogrammetric algorithms customization; and finally d) the fundamental contradiction known as “training versus education” [Levin et al, 2010] well known in concern to educational use of the “OpenPhotogrammetry” framework. Initial problem solving ideas are: via credible user-authorization system(ACXML) resolve problem; a) use virtual machines (VM) [Clark et al,2005] analysis technology and desktop VM clones may help to resolve problem; b) automated QA failure protocols and selection options of user-delivered algorithms is one of the possible ways to resolve problem; c) and finally orientation of man-machine interfaces and overall “OpenPhotogrammetry” design on academic and research (rather than production) use will help to resolve, at least partially, problem d). Learning games elements will also be considered. Another problem which has to be resolved is integration of open-source image compression algorithms for the large imaging files transmission. Medical informatics research [L. Rodney Long], [B.Read] demonstrates some open-source solutions which can be deployed in geospatial domain. The following paper sections outline foreseeable solutions to the stated above problems.

3. OPEN-SOURCE SOFTWARE AS “OPENPHOTOGRAMMETRY” SERVICE

Recent years demonstrated great potential of social networks as efficient collaborative environments capable to even to catalyze revolutions such as “Arab spring”. Samples of efficiently functioning collaborative environments include: NSF Earth Cube[NEC], NASA Earth Exchange[NEX], NASA World Wind[WorldWind], Google Earth[GE] and other virtual globes [Elvidge and Tuttle 2008]. Facebook, Google+, DropBox and iCloud become a standard way of communication and data exchange worldwide. Specifically LinkedIn [LIN] professional social network already has 220 geospatial and 145 remote sensing related working groups. For being compliant with such ubiquitous collaborative networks and cyberinfrastructures

”OpenPhotogrammetry” from system architecture standpoint should be implemented as service bus or as it is depicted on Fig. 5. ”Openphotogrammetry” system architecture comprises the following components:

- Sensor Modeling – to deploy and append interoperable sensor models and georeferencing of raw geospatial data;
- Learning/Teaching – for teaching and orthorectifying imagery with plug-ins to OpenGIS and collaborative virtual globes;
- Feature Extraction – for overlapped geospatial imaging orientation, 3D feature collection and DEM generation;
- OpenAT – for densification of the ground control by analytical triangulation.

“OpenPhotogrammetry” is foreseen as an open-source development within multi-tier client-server and standalone software architectures. Any photogrammetry or geospatial imaging specialist/researcher in the world will be able to contribute new sensor-models and custom processing algorithms for “OpenPhotogrammetry”. Finally “OpenPhotogrammetry” will be seamlessly integrated as a sub-framework into ubiquitous network collaboration tool with capability to execute “OpenPhotogrammetry” related activities even from smart phones.

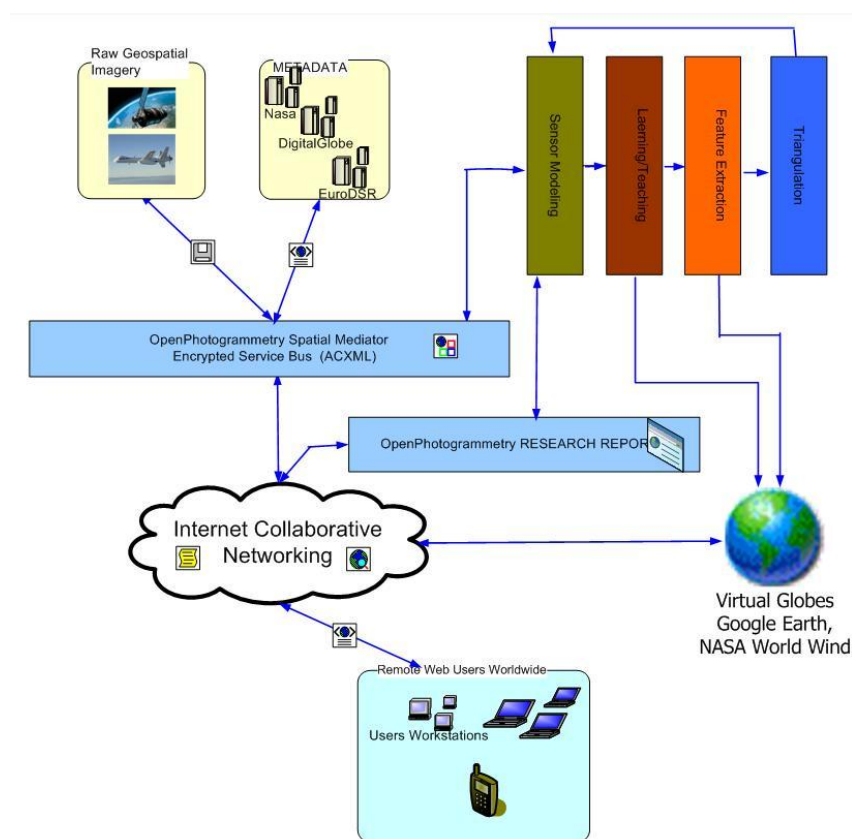


Figure 5. “OpenPhotogrammetry” system architecture

4. SOME ASPECTS OF “OPENPHOTOGRAMMETRY” SYSTEM ADMINISTRATING

To promote integration and consistency, our “OpenPhotogrammetry” architecture will inhibit open-source software plugins that we develop to coincide the application programming interfaces (APIs) of image repositories such as GoogleEarth, NASA Earth Exchange, NASA World Wind, etc. We will develop and enforce security in a standardized manner to control access of images (e.g. public versus confidential), along with the ability to log or track application's usage.

Plugin Development:

We plan to develop a Java image processing program for “OpenPhotogrammetry” will run either online as an applet or can also be downloaded. It will support all the major photogrammetric image types, such as Tiff,JPG,MrSID and will run on mainstream operating systems, such as Microsoft Windows, Mac OS, and Linux. It will also support multithreading, so image file reading and processing can be completed in conjunction with other tasks. This developed plugins will make it possible to pre-process geospatial imagery for being integrated into collaborative environments such as Google Earth(via KML/KMZ) and NASA Open Wind(via Java). Image zoom capabilities and transformations such as scaling, rotation, and flipping will also be attributes of this software. The “OpenPhotogrammetry” software will be created using an Java built editor and Java compiler and customized to each image repository. End-users will use their Java-enabled Internet browser, as a client; to connect to the “OpenPhotogrammetry” server and either download or run online the applet that we have developed. Once this has been completed, users will be able to conduct photogrammetric processing and collaborate over an open-source platform.

Security and Logging Enforcement

To maintain security and logging of who has access to images accessed on the “OPENPHOTOGRAMMETRY” system, we plan to integrate the XACML [OASIS-XACML] standard within the proposed architecture. XACML is a security standard for XML data and will serve as a flexible and sound security solution within our open-sourced environment.

XACML Architecture

The “OpenPhotogrammetry” XACML architecture will consists of the following entities:

- PEP - Policy Enforcement Point
 - Responsible for enforcing policies based on authentication of users and their respective authorization to access information/services. The PEP describes who/what/when/where is being accessed to the PDP for a confirm/deny response.
- PDP - Policy Decision Point
 - Responsible for making admission control and policy decisions in response to the request from the PEP in regards to the policy store.
- PIP - Policy Information Point

- A storage point of the policies that will be accessed by the PDP when making a decision.

Decision Mechanism

The XACML PDP has three main contexts. The three are policies, requests and responses. All three of these are classified in XML format.

The rule evaluations used within the PDP is the most critical part of the “OpenPhotogrammetry”’s XACML architecture. This request will be matched against policies in place. This request consists of attributes which describe the event to be evaluated, Subject, Resource, Action, (optionally) environment. For example, if a user should have access view and make changed to confidential image, policies created regarding this user's attributes (e.g. name, rank, employment, status, etc.) would acknowledge these attributes and make a decision based on matching user's credentials and attributes to those associated with the image or metadata. The response from such a request will have a variety of values as seen in Fig. 6. We have classified the response to three values. The first two are self-explanatory, while the third classifies requests that do not correspond to the policy. This is useful for testing purposes and design.

Target	Condition	Rule Value
"Match"	"True"	Effect
"Match"	"False"	"NotApplicable"
"Match"	"Indeterminate"	"Indeterminate"
"No-match"	Don't care	"NotApplicable"
"Indeterminate"	Don't care	"Indeterminate"

Table 4 - Rule truth table

Figure 6. Rule table

SAML

Security Assertion Markup Language (SAML) [OASIS-SAML] is an XML standard for exchanging authentication and authorization data between entities. It consists of a precise syntax and processing semantics in the form of *assertions*, usually based on categories such as role-based access control (RBAC), which contain statements that are used to make access control decisions. SAML assertions and protocol messages are encoded in XML and are embedded in other structures for transport, such as HTTP POST request or XML-encoded SOAP messages. End-users will be assigned SAML attributes based on their affiliation and rank to verify their access to confidential information.

Application Flow

When the application is launched, the end user will be directed to a web page that we have developed and requesting their login credentials. The user will then enter their username and password which and verified with the backend of the software. Based on their attributes, they will be only able to access to what they are permitted. The current system has two mains sections, the user interface which consists of the website and the back end of the PDP. The front end and back end the use were chosen carefully and with consideration.

The front end of choice was PHP. This was because we wanted to be able to produce a dynamic web site. PHP provides for many security features including built in functions for one-way hashing and other encryption algorithms. PHP also includes a system for transparent cookie encryption. All these features and functions are part of essentially setting up and maintaining a secure web environment.

The back end will be Java-based. Java was chosen because of its platform independence and currently available frameworks. This framework was implemented to allow for the correspondence between PHP and a PDP. The user interface is used to interface with the user and the “OpenPhotogrammetry” image and metadata repository. It can read and write request XML files. This allows for dynamic on-the-fly requests to be formed and be prepared to be sent to the PDP. This system uses a system call to interface with the Java backend. Then the XML response returned from the backend will be processed.

Logging

There are many areas throughout the application that actions are logged into the database for auditing. This is to provide a necessary means of keeping track of access to the system and the information and images that reside on the “OpenPhotogrammetry”’s design. The following actions are currently planned to be logged:

- Logging in
- Incorrect Password
- Meta-data access
- Image access
- User Access

CONCLUSION

Success in “OpenPhotogrammetry” development will be beneficial for researchers of ISPRS, FIG and many other research communities. Multi-year “OpenPhotogrammetry” research and development effort has potential of being forward-looking, integrative and transformative. “OpenPhotogrammetry” opens opportunity for fruitful international collaborations.

References

1. [Arpenteur] ARchitectural Photogrammetric Network Tools for EdUcation and Research: <http://sudek.esil.univmed.fr/arpenteur/spip/spip.php?rubrique7>, accessed February 2012
2. [Botts 2005] Botts, M. OpenGIS® Sensor Model Language (SensorML). OGC 05-086. Open Geospatial Consortium Inc. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=12606
3. [BIAS] Basic Image Algorithms library: <http://mip.informatik.uni-kiel.de/~wwwadmin/Software/Doc/BIAS/html/index.html> , accessed February 2012
4. [CATCON] Computer Assisted Teaching CONtest, <http://www.isprs.org/education/software.aspx> , accessed February 2012
5. [Chen et al, 2011] N. Chen, Z. Chen, L. Di, and J. Gong, “An efficient method for near real-time on-demand retrieval of remote sensing observations,” *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens. (JSTARS)*, vol. 4, no.3, pp. 615–625, Sep. 2011.
6. [Clark et al, 2005] C. Clark, K. Fraser, S. Hand, J. G. Hansen, E. Jul, C. Limpach, I. Pratt, and A. War eld. Live Migration of Virtual Machines. In Proceedings of the 2nd ACM/USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI), Boston, MA, May 2005.
7. [Deng and Di, 2010] Deng, M., and L. Di, Facilitating Data-intensive Research and Education in Earth Science - A Geospatial Web Service Approach. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany. ISBN: 978-3-8383-9714-6.
8. [Di et al 2003] Di, K., R. Ma, and R. Li, 2003. Rational functions and potential for rigorous sensor model recovery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(1): pp. 33–41.
9. [Di 2005] L. Di “A Framework for Developing Web-Service-Based Intelligent Geospatial Knowledge Systems,” *Journal of Geographic Information Sciences*. Vol. 11, no 1, pp. 24-28.
10. [Di 2004] L. Di, GeoBrain-A Web Services based Geospatial Knowledge Building System. Proceedings of NASA Earth Science Technology Conference 2004. June 22-24, 2004. Palo Alto, CA, USA (8 pages. CD-ROM).
11. [Elvidge and Tuttle, 2008] , C.D. Elvidge, B.T. Tuttle “HOW VIRTUAL GLOBES ARE REVOLUTIONIZING EARTH OBSERVATION DATA ACCESS AND INTEGRATION”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B6a. pp 137-140, Beijing 2008
12. [GBM] Google Building Maker - <http://sketchup.google.com/3dwh/buildingmaker.html>, accessed February 2012
13. [GRASS] GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System): <http://grass.fbk.eu/>, accessed February 2012
14. [Grodecki, 2001] Grodecki, J., 2001. Ikonos stereo feature extraction – RPC approach. Proceedings of the ASPRS Annual Conference, St. Louis, 23–27 April, unpaginated CD-ROM.
15. [Insight3D] Free photogrammetric 3D modeling open-source software: <http://insight3d.sourceforge.net/>, last accessed January 2012
16. [LDP] Learning Digital Photogrammetry web-site: <http://ldipinter2.plan.aau.dk/>, accessed January 2012.
17. [Levin et al, 2010] E. Levin, R. Liimakka, A. Leick, “Implementing a New Geospatial Educational Paradigm at Michigan Tech” *Surveying and Land Information Systems*, Vol.70, No 4, pp 211-216, Dec 2010
18. [Lillesand et al, 2000] Lillesand T., Olsen T., Gage J., McEnany P., ”New paradigm, new approaches: restructuring geo-spatial information education and training in a traditional research university settings.” *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII, Part B6, Amsterdam 2000.
19. [Longley, 2002] LONGLEY, P.A., 2002, *Geographical information systems: Will developments in urban remote sensing and GIS lead to ‘better’ urban geography?* *Progress in Human Geography*, 26, pp. 231–239.

20. [B. Read] Berkeley Researchers Develop Technology for Sending Medical Images Via Cellphones <http://chronicle.com/blogs/wiredcampus/berkeley-researchers-develop-technology-for-sending-medical-images-via-cellphones/3891> , accessed March 2012
21. [L. Rodney Long] Transmission of Medical Images over Wide Area Networks: http://www.nlm.nih.gov/research/visible/vhp_conf/long/vh96.htm , accessed March 2012
22. [LIN] <http://www.linkedin.com/groupsDirectory?results=&sik=1330223055536>
23. [NASA OpenSource] <http://ti.arc.nasa.gov/opensource/>, accessed March 2012
24. [NEC] <http://www.nsf.gov/geo/earthcube/> , accessed March 2012
25. [NEX] <https://c3.nasa.gov/nex/> , accessed March 2012
26. [OASIS-XACML] OASIS Standard. “Extensible Access Control Markup Language (XACML), Version 2.0”. United States. 1 Feb 2005
27. [OASIS-SAML] OASIS Standard. “Assertions and Protocols for the OASIS Security Assertion Markup Language (SAML), V2.0”. United States. 15 Mar 2005
28. [OGC] <http://www.opengeospatial.org/>, accessed March 2012
29. [OpenDragon] OpenDragon project web-page http://www.open-dragon.org/open_object.html, accessed February 2012
30. [PHT] Python Photogrammetry Toolbox http://www.arc-team.com/wiki/doku.php?id=open_software_ppt-gui, accessed January 2012
31. [Petrie] Dr. Gordon Petrie Web-Links Database available online at: <http://web2.ges.gla.ac.uk/~gpetrie/linksdbs.html>, accessed February 2012
32. [SPE] StereoPhotogrammetry Extractor : <https://launchpad.net/stereophoto>
33. [Toutin, 2000] Thierry Toutin and Philip Cheng, “Demystification of IKONOS,” GIM Magazine, no 3, pp. 3-12, 2000
34. [WorldWind] <http://goworldwind.org/features/>

ДИНАМИЧНЫЕ ГИС И ЦЕННОСТЬ ГЕОДАННЫХ

Ирина Ветцель

Intergraph Security, Government & Infrastructure (SG&I), CH-9435, Хеербругг, Швейцария, региональный менеджер направления по работе с геоданными в Восточной Европе, тел: +41 71 727 40 17, мобильный: +41 79 826 50 84, факс: +41 71 727 46 91, e-mail: iryna.wetzel@intergraph.com

Компания ERDAS вместе с компанией Intergraph входит в группу компаний Hexagon AB, Швеция. Основной фокус Hexagon направлен на поставку полезной информации, используя технологии дизайна, измерений и визуализации.

Ключевые слова: динамические ГИС, геоданные, серверные технологии, взаимная интеграция геоданных, стандарты OGS и ISO.

THE DYNAMIC GIS AND THE VALUE OF GEOSPATIAL

Iryna Wetzel

Intergraph Security, Government & Infrastructure (SG&I), CH-9435 Heerbrugg, Switzerland, Geospatial Regional Manager Eastern Europe, tel: +41 71 727 40 17, mobile: +41 79 826 50 84, fax: +41 71 727 46 91, e-mail: iryna.wetzel@intergraph.com

Together, Leica Geosystems, Intergraph and ERDAS provide hardware and software tools to form the Dynamic GIS, from capturing, managing, sharing, and delivering data to transforming vector, raster, and terrain information and securely delivering integrated information products. An integrated geospatial system, the Dynamic GIS is able to translate change, on the fly, into actionable information.

Key words: dynamic GIS, geospatial information, location-specific data, server technologies, data fusion, standards Open Geospatial Consortium (OGC®) and International Organization for Standardization (ISO).

The Hexagon group of companies provides a multitude of software, including enterprise engineering software, geospatially powered software, surveying and construction software and dimensional metrology software packages.

Intergraph® is the global provider of engineering and geospatial software that enables customers to visualize complex data. Businesses and governments rely on Intergraph's industry-specific software to organize vast amounts of data and infuse the world with intelligence to make processes and infrastructures better, safer and smarter. The company's software and services empower customers to build and operate more efficient plants and ships, create intelligent maps and protect critical infrastructure and millions of people around the world. Intergraph Security, Government & Infrastructure (SG&I) provides geospatially powered solutions to the public safety and security, defense and intelligence, government, transportation, photogrammetry, utilities and communications industries. Intergraph Process, Power

& Marine (PP&M) provides enterprise engineering software for the design, construction and operation of plants, ships and offshore facilities.

ERDAS creates geospatial business systems that transform our earth's data into business information, enabling individuals, businesses and public agencies to quickly access, manage, process and share that information from anywhere. Using secure geospatial information, ERDAS solutions improve employee, customer and partner visibility to information, enabling them to respond faster and collaborate better. ERDAS offers a broad range of geospatial information technology software, delivering solutions in image exploitation, processing, visualization and data management. ERDAS' solution set include automated capabilities and functionality built into the system, visualization and delivery, vector editing and topology and Web services, to name a few.

Information about the earth, or geospatial information, is increasingly being used to drive critical decisions in organizations of all sizes. Snapshots of geography can be captured from airborne, orbital, terrestrial, or hand sensors and saved as a permanent record of events happening on the earth's surface. When the earth changes, the ability to understand these changes and rapidly share this information can be critical. Integrating geospatial information with the other forms of data an organization maintains adds immense value. In time-critical situations, frequent updates are not enough. As search engines have drastically improved, the ability to find information has advanced from merely quick to instantaneous. Moreover, the advent of blogs and social networking sites has made it easier to publish, share, and view information as events are occurring. Individuals have the ability to do more than just report coordinates or capture an image – eyewitnesses now provide live feeds of event-specific, time-specific, and location-specific information about our changing world.

We can sense the real world around us – from space, the air, and the ground. With advances in technology, we can also make sense of captured data with clever algorithms for data fusion, feature extraction, and integration with business intelligence. Storage, database, and server technologies now support the handling of large volumes of data, making it possible to natively use geospatial data in its raw form and leverage the depth of information available in all these sources. Advances in mobile computing and technology extend the use of geographic data and information, empowering billions of individuals to be publishers and users of location-specific data and information. Cloud-enabling geospatial applications and platforms further extend the reach of these tools to users beyond the traditional GIS, remote sensing, and photogrammetric arenas. With standards from organizations like the Open Geospatial Consortium (OGC®) and International Organization for Standardization (ISO), we now have the means to achieve true interoperability across domains to provide a common language for understanding our earth. Combining the strengths of Intergraph, ERDAS, and Leica Geosystems technologies, Hexagon now offers the industry's most comprehensive set of geospatial solutions, aligning all the vehicles necessary to make the Dynamic GIS a reality by completely connecting sensors to software and software to solutions (through specific vertical market services) ultimately provides a means to protect lives, infrastructure (property), and society.

Leica Geosystems' and Z/I Imaging's technology capture terabytes of imagery that can be used to create and extract valuable geographic information. ERDAS has a legacy of pioneering in image processing and raster handling, maximizing the pixel. Intergraph built a vector-based strategy to build land bases and databases of geospatial intelligence and provides differentiated and vertically-focused software solutions to core industries that use geospatial data. The Dynamic GIS supports the complete geospatial information lifecycle.

ДИНАМИЧНЫЕ ГИС И ЦЕННОСТЬ ГЕОДАННЫХ

Технологии Hexagon позволяют пользователям создавать, управлять и обмениваться полезной информацией - основы для принятия быстрых, продуманных решений управленческого уровня за счет использования данных из самых различных источников. Hexagon AB это концерн, разрабатывающий высокие технологии, в которых занято порядка 2000 разработчиков и имеет 2100 зарегистрированных и активных патентов. Продажи осуществляются в 170 странах. Развивающиеся рынки составляют 30 процентов от всех продаж.

Интегрированные системы геопространственных данных – или динамичные ГИС системы – способны транслировать изменения на лету в полезную информацию. Эти системы предусматривают наличие в одной технологической цепочке бортовых систем для сбора данных в комбинации с программными продуктами для их последующей обработки и управления ними.

Информация о земной поверхности или геопространственная информация все чаще и в большей мере используется как основа для принятия критически важных решений в организациях любого уровня. Регулярный сбор и регистрация данных дистанционного зондирования, полученных с сенсоров воздушного и орбитального базирования, наземных систем или датчиков, позволяют фиксировать информацию об изменяющихся объектах местности и протекающих на ней процессах. Такие изменения могут происходить чрезвычайно быстро, поэтому наличие актуальных данных, а также скорость и эффективность предоставления доступа к ним со стороны пользователей становится все более критичными. Возможность интеграции пространственной информации с другими видами семантических, описательных и иллюстративных данных внутри организации придает им неоценимое значение за счет обеспечения информационной полноты процесса принятия решений.

В жестко ограниченных по времени критических ситуациях, частая актуализация информации недостаточна. Современные поисковые машин и выполняют задачи поиска уже не просто быстро, а мгновенно. Кроме этого, появление блогов и социальных сетей облегчили публикацию, обмен и просмотр информации о событиях.

Изменения должны быть быстро зафиксированы на снимках, переданы заказчику и скомбинированы с другими данным по событию представляя её максимально информативную картину.

Возрастающий спрос на смежные приложения увеличивает ценность растровых и векторных данных. ГИС, инженерные приложения, фотограмметрия и ДЗЗ могут только частично в силу своей природы

разобраться в происходящем в данном месте. Сохраняя различные виды данных с различной степенью точности, различного масштаба, в несовместимых схемах данных для работы в различных несогласуемых между собой приложениях, уменьшает эффективность их использования.

С развитием технологий, мы можем лучше понять данные, используя умные алгоритмы для слияния данных, выделения по признакам, а также интегрируя данные в бизнес-аналитику. Хранилища, базы данных и серверные технологии поддерживают обработку больших объемов данных, что делает возможным использовать данные в их исходных форматах, таким образом максимально приблизиться к использованию всей глубины источника данных.

Облака точек позволяют еще больше расширить круг пользователей за пределами традиционных ГИС, дистанционного зондирования и фотограмметрии. Благодаря стандартам, таким как Open Geospatial Consortium (OGC ®) и Международной организации по стандартизации (ISO), появились средства для достижения истинного взаимодействия между доменами, чтобы обеспечить общий язык для понимания происходящего на нашей земле.

© I. Wetzel, 2012

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБНОВЛЕННОЙ ЛИНЕЙКИ ПРОДУКТОВ ERDAS И INTERGRAPH

Ирина Ветцель

Intergraph Security, Government & Infrastructure (SG&I), CH-9435, Хеербругг, Швейцария, региональный менеджер направления по работе с геоданными в Восточной Европе, тел: +41 71 727 40 17, мобильный: +41 79 826 50 84, факс: +41 71 727 46 91, e-mail: iryna.wetzel@intergraph.com

Компания ERDAS вместе с компанией Intergraph входит в группу компаний Hexagon AB, Швеция. Основной фокус Hexagon направлен на поставку полезной информации, используя технологии дизайна, измерений и визуализации.

Ключевые слова: лидарные данные, ГИС, геоданные, Live Link, облака точек, облачные сервисы.

THE NEW PRODUCT PORTFOLIO ERDAS & INTERGRAPH

Iryna Wetzel

Intergraph Security, Government & Infrastructure (SG&I), CH-9435 Heerbrugg, Switzerland, Geospatial Regional Manager Eastern Europe, tel: +41 71 727 40 17, mobile: +41 79 826 50 84, fax: +41 71 727 46 91, e-mail: iryna.wetzel@intergraph.com

ERDAS and Intergraph are now working together, leveraging their synergies to redefine the geospatial industry. As a part of Intergraph's Security, Government and Infrastructure division (SG&I), ERDAS' technology enhances Intergraph's geospatially powered solutions for managing, enhancing and protecting life, infrastructure and property.

Key words: LiDAR, Live Link, point cloud, CAD, GIS, iOS and Android.

ERDAS and Intergraph® are unveiling plans for streamlined geospatial data revision and update workflows in ERDAS IMAGINE® and Geomedia®. Part of Hexagon AB, ERDAS and Intergraph are working together to leverage joint strengths in geospatial innovation. Continual, accurate and timely updates to GIS and CAD databases are critical, enabling decision-makers to access current and relevant information. With a new Live Link users can simultaneously work within ERDAS IMAGINE and GeoMedia to collect and update new information about the changing earth. Intergraph and Erdas are a wholly owned subsidiaries of Hexagon AB, (Nordic exchange: HEXA B) and (Swiss exchange: HEXN).

Between those working with a rigid and technically demanding desktop GIS and a static light-weight browser-based GIS, there exists a large potential for new applications accelerating the business workflow and igniting the power of the GIS.

Intergraph Security, Government and Infrastructure - SG&I recently announced the release of a GeoMedia® Smart Client 7.0. GeoMedia® Smart Client makes an organization progressive, enabling all users to seamlessly integrate geographic changes into customized workflow. End users are able to leverage advanced

geospatial functionality via simple-to-use map-based tools, streamlining their processes and honing their expertise. These vibrant geospatial business workflows provide a level of sophistication not supported by legacy out-of-the-box horizontal software products. With GeoMedia® Smart Client, workflow optimization and intuitive web editing becomes a reality embraced across the organization. Moreover, the organizations can create a single deployment that can be configured for an unlimited number of applications. Geographic changes are easily and interactively implemented across an enterprisewide smart GIS, seamlessly integrating into configurable workflows. Users from multiple departments can now leverage advanced geospatial functionality via simple-to-use map-based tools, streamlining their processes and honing their expertise. Now, a broader group of individuals (and departments) across an organization can create data, maps and reports for their projects, rather than having to rely on a GIS specialist or outsource this work.

Live Link connects GeoMedia® and ERDAS IMAGINE®. For the first time, users can leverage GeoMedia's rich set of vector handling tools and ERDAS IMAGINE's raster capabilities to support synchronized data sharing, viewing, editing, updating, and analysis. Users can now enjoy truly connected image processing and GIS products from a single provider, not only simplifying purchasing and maintenance, but also providing a stronger, more streamlined geospatial workflow. With this new capability, end-users can integrate comprehensive spatial information and technology with business systems and applications to simultaneously strengthen their responsiveness to customers with a holistic view of a given geography. GeoMedia is a powerful GIS management package that enables users to realize the maximum value of their geospatial resources, integrating them into present clear, actionable information. ERDAS IMAGINE incorporates geospatial image processing and analysis and remote sensing capabilities into a single powerful, convenient package. Now connected, users can leverage these two products together, integrating accurately processed imagery and terrain data from ERDAS IMAGINE for critical GIS and CAD updates, along with GeoMedia's comprehensive toolset for managing and analyzing GIS resources. Within ERDAS IMAGINE, users have access to a sophisticated set of assisted feature collection capabilities and quantitative image processing that supports change detections and the extraction of details about the earth, such as land cover, vegetation health and impervious surface information.

The new release ERDAS IMAGINE 2012 will be introduced during the product launch party in Las Vegas at the annual User Conference of HEXAGON June 3-7. The new features will be demonstrated which are designed specifically to support the LiDAR data.

The Point Cloud Tool will be integrated into the Erdas ribbon interface. ERDAS IMAGINE 2012 will have a 3D window, and profile views. The operator will be able to select the color by elevation, classification, returns, file, RGB, intensity and hill shade as well as profile box that can roam along a vector that may define a power line corridor. The roam is controlled by the roam set. The operator will have a measure tool to make measurements in the profile window. The normal measure tool will work in the 2D window. There will be a set of operators like constant Z for lakes, Bias for forest removal and we will allow the user to select points and re class them. We are

also adding more LAS capabilities to the terrain Tab to include reprojecting, filtering, RGB encoding and classification.

The product Give a Hint! is a simple reporting of potholes, broken sign posts, graffiti etc. to municipalities and utility companies. Using Give a Hint! application the citizens help municipalities and utility companies to identify the problems and can focus on solving the problems instead of identify them. It works on both - iOS and Android devices. The backend is running in Amazon's EC2 cloud.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБНОВЛЕННОЙ ЛИНЕЙКИ ПРОДУКТОВ ERDAS И INTERGRAPH

Компания ERDAS вместе с компанией Intergraph входит в группу компаний Hexagon AB, Швеция.

Основной фокус Hexagon направлен на поставку полезной информации, используя технологии дизайна, измерений и визуализации. Такие технологии позволяют пользователям создавать, управлять и обмениваться полезной информацией - основы для принятия быстрых, продуманных решений управленческого уровня за счет использования данных из самых различных источников. Hexagon AB это концерн, разрабатывающий высокие технологии, в которых занято порядка 2000 разработчиков и имеет 2100 зарегистрированных и активных патентов. Продажи осуществляются в 170 странах. Развивающиеся рынки составляют 30 процентов от всех продаж.

Подразделение Intergraph Security, Government & Infrastructure - SG&I (в дословном переводе означающее Безопасность, Правительство и Инфраструктура) - ведущий мировой производитель геопространственных решений для таких отраслей как: общественная безопасность, государственное и муниципальное управление, транспорт, фотограмметрия, инженерные коммуникации, телекоммуникации.

Программные решения ERDAS помогают трансформировать геопространственные данные в коммерческую информацию, используя программные продукты ERDAS IMAGINE & LPS, ERDAS APOLLO & TITAN для надежного создания, менеджмента, соединения и публикации геопространственной информации. Без затрат на дополнительные аппаратные средства, ERDAS помогает решить задачи легко и быстро:

-  Анализ и обработка снимков (растровых, лазерных, радарных и т.д.)
-  Фотограмметрическая обработка данных
-  Менеджмент данных любых форматов и стандартов
-  Обмен данными настольных приложений и отрисовка в 3D
-  Публикация данных и изображений
-  Высокий уровень защиты данных при сохранении авторских прав.

Подразделение Intergraph Security, Government and Infrastructure - SG&I объявила о выпуске GeoMedia Smart Client 7.0. Организации теперь могут динамично запускать и использовать свои ГИС, что позволит всем пользователям объединять изменения в единый конфигурируемый рабочий процесс. Пользователи могут использовать передовые геопространственные

технологии и оптимизировать процессы с помощью простых в использовании картографических инструментов. Оптимизация документооборота и интуитивно понятное web-редактирование станет реальностью при использовании GeoMedia Smart Client. Продукт доступен для скачивания.

В ходе IX-ой Международной выставки GeoForm+ 2012 компания Intergraph продемонстрировала единое решение на базе своих технологий - новый продукт Live Link, объединяющий Intergraph GeoMedia и ERDAS IMAGINE. С помощью Live Link пользователи могут объединить возможности двух продуктов: GeoMedia, предназначенного для работы с векторной графикой, и ERDAS IMAGINE, ориентированный на работу с исходными растровыми данными. Также возможна синхронизация этих продуктов для визуализации, редактирования и обновления информации. Благодаря новым возможностям, пользователи смогут интегрировать различные данные в связанные друг с другом продукты для обработки изображений и для работы с ГИС от одного и того же поставщика, что не только упрощает обслуживание, но и обеспечивает более мощный и налаженный режим работы.

Запланированная к релизу новая версия ERDAS IMAGINE 2012 предоставит новые возможности по обработке данных, в частности лазерных. Релиз новой версии состоится в рамках ежегодной конференции пользователей Hexagon, которая будет проходить в Лас Вегасе с 3 по 7 июня 2012 г.

Инструмент работы с облаками точек “Point Cloud Computing” будет полностью интегрирован в ленточный интерфейс ERDAS IMAGINE 2012 в самостоятельном регистре, с помощью которого станет возможным просмотр лазерных данных в окне 3D, а также просмотр профилей в отдельных окнах.

В ERDAS IMAGINE 2012 будет добавлено несколько новых функций в регистре рельефа, включая повторное проецирование LAS - файлов, фильтрация, кодирование RGB, классификация, сжатие и многое другое.

В ERDAS APOLLO 2011 пользователь уже имеет возможность устанавливать просмотр для LAS – директории, извлекать нужные метаданные из LAS – файла, а также генерировать вспомогательный файл поверхностей (GeoTIFF или IMG) для каждого отдельного LAS - файла. Далее LAS – файл может обслуживаться на удаленной клиентской стороне как WCS при помощи технологии “Clip, Zip, Ship” и т.д.

Give a Hint! – Подсказка! – это решение на основе облачных сервисов и мобильных приложений. Представляет собой простое решение для информирования администраций муниципальных образований, дорожных и коммунальных служб о мелких инцидентах (неработающий светофор, несанкционированная свалка мусора и т.п.) для смартфонов в связке облачным решением Intergraph Apps & Maps. Население помогает оперативно выявлять мелкие инциденты. Службы концентрируются на устранении инцидентов, а не на их поиске и выявлении.

СИСТЕМА ВЫСОТ МОНГОЛИИ

Энхтуяа Содном

АЗОСГК, Монголия, г.Уланбатор-211238, район Чингэлтэй, площадь Строителей-3, дом Правительства-12, ком-208, старший специалист отдела кадастра и информационных технологий, тел: 976-21)260546, моб: 97699018529, e-mail: enkhtuya_64@yahoo.com

В статье рассматривается нивелирная сеть Монголии 2-го класса, ее сгущение, уравнивание, анализ и обновление данных. Нивелирная сеть используется также для изучения деформаций земной коры.

Ключевые слова: нивелирная сеть, анализ, сгущение, уравнивание, невязка хода, обновление данных, карта, деформации земной коры.

MONGOLIAN HEIGHT SYSTEM

Enkhtuya Sodnom

Administration of Land Affairs, Construction, Geodesy and Cartography, Government Building XII, room 208, Barilgachdyn square-3, Chingeltei district, Ulaanbaatar-211238, Mongolia, senior expert of Cadastral and Information Technological Division, tel:(976-21)260546, mobile: 976)99018529, e-mail: enkhtuya_64@yahoo.com

The existing second order levelling network in Mongolia, its densification, adjustment, data updating and analysis are considered. This network is used for study of vertical crustal deformation.

Key words: levelling network, analysis, densification, adjustment, loop closure, data updating, map, vertical crustal deformation.

1. Background

The 2nd, 3rd and 4th order levelling Network of Mongolia was established during 1940-1949 for the purposed of mapping Mongolia at the scale of 1:100 000. Thus it was the first vertical control network of Mongolia.

This network was connected to 6 points of the second order-levelling network of Russia. The six Russian points were used as the starting point of the Mongolian network and were based on the level datum of Footstock in the Baltic Sea. The orthometric height method was adopted to calculate the first levelling network of Mongolia. The levelling equipment accuracy used for this survey was 3''.84-11''.40.

The first Levelling Network of Mongolia is shown in Fig.1.

The State Administration of Geodesy and Cartography (SAGaC) did a review and extended the existing leveling network in a period of 1974-1991. The proposal to make the Levelling Network densification, to update the old levelling data and to study the vertical crustal movements was undertaken in 1974-1991.

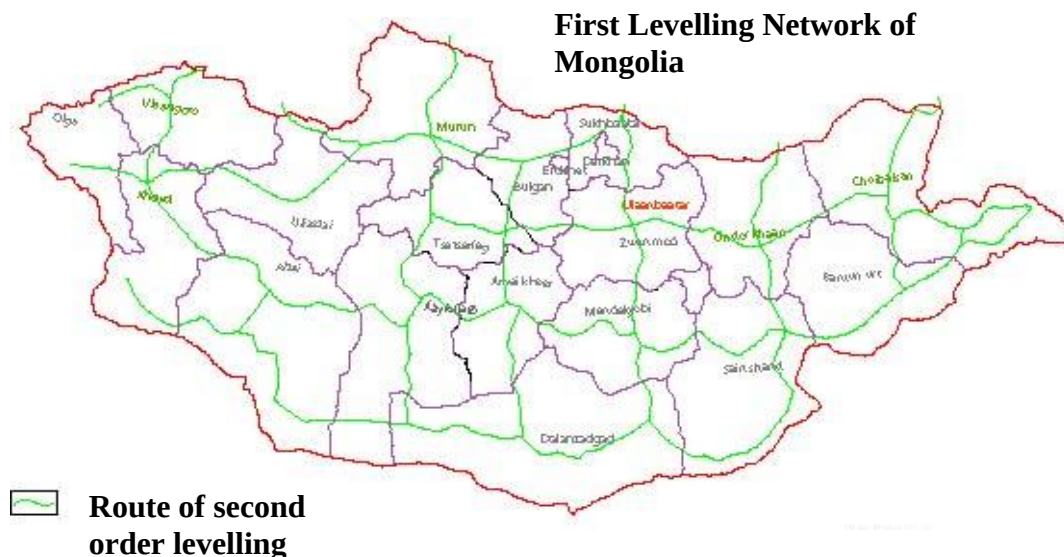


Figure 1.

Between existing levelling points new points were established, which increased the number of lines to the network, and thus reduced the size of existing polygons and increased the number of levelling polygons.

Below in table form is figure information that explains this further.

Table 1.

Order	Character of levelling network	Second order levelling networks	
		First	Re-levelling
1	Number of the route	46	51
2	Number of the polygons	13	17
3	Average perimeter of polygon	1200 km	1000 km
4	Average distance between neighboring benchmarks	7-10 km	4.5-7.5 km
5	Average distance between control ground points	70-150 km	57-75 km
6	Average depth of benchmarks	1.3-2.0 m	1.5-3.9 m

The total length of the Re-Levelling Network is 14030.5 km and the network comprises 3039 control ground points and benchmarks in total.

The second order Re-Levelling Network of Mongolia is presented below.

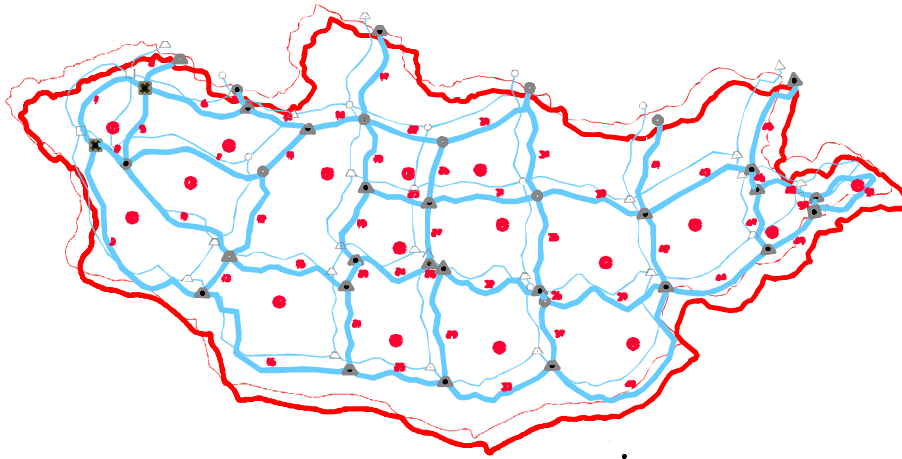


Figure 2. The second order Re-Leveling Network

2. Technology and Equipment of field survey for Second Order Leveling Network

Two Russian Surveying Regulation were used during survey. One is the “Regulation of the 1st, 2^d, 3rd, 4th order Levelling Network” and the other is the “Regulation of the adjustment for the 1st, 2^d, 3rd, 4th order Levelling Network.

The requirements of the specification are as follows:

- Forward and backward leveling for the same route must be survey at different time of the same day. I.e. if forward levelling survey was done in the morning, the backward levelling survey was to be done on the afternoon of that same day. The permissible value of different (diff = back – fore) between both levelling is $\pm 5\sqrt{L}$ km.

- Use the following formulas to calculate random and systematic error of levelling of 1 km line.

$$\eta^2 = \frac{1}{8n} \left[\frac{d^2}{r} \right] \text{----} ; \quad \delta^2 = \frac{1}{4[L]} \left[\frac{S^2}{L} \right] \text{----} ; \quad [1]$$

Where:

n – number of station position in the route

d - difference of forward and backward direction levelling data

L – route distance

S – value from chart, which is related to “d” and “L”.

- The permissible misclosure of levelling error in route and polygon is $\pm 5\sqrt{L}$ km.

3. Analysis of second order Levelling Network

Formula [1] was used to determine random and systematic errors of the new data (1974-1991).

The permissible value of those errors are for random error $\eta = 1.25$ mm, and for systematic error $\delta = 0.15$ mm in Mongolia.

The gravimetric correction to be applied to the spirit-leveled height differences is called the orthometric correction that compensates for the nonparallelity of gravity equipotential surfaces.

Gravity was measured on all 2nd order levelling network points. By using those gravity results, the corrections of normal orthometric heights for all points were calculated using the formula as shown.

$$f = -(\gamma_{ok} - \gamma_{oi}) * H_m / \gamma_m + (g - \gamma)_m * h_{ik} / \gamma_m \quad [2]$$

Where:

γ_m – approximately value of normal gravity, which is equal to 981000 mGal for whole territory of Mongolia.

$\gamma_{ok}; \gamma_{oi}$ – normal gravity of bench marks K and I on the ellipsoid.

H_m – average height between bench marks K and I

g – gravity survey data

γ - Normal gravity

$(g - \gamma)_m$ – arithmetic average of anomaly gravity of bench marks K and I.

The computation of the orthometric correction f is done iteratively, since it involves the unknown orthometric heights.

Before the network adjustment, while carrying out pre-adjustment data screening for second order Re-Levelling Network, we determined levelling loop closures and route closures (Fig. 3).

The levelling loop closures for Re-Levelling Network show the following results.

Allowable closure 53.3% of the all polygon	
	(polygon N ^o 6+9;7;8;11;13;14;15;17)
Exceed allowable closure by 2-10 cm	26.6%
	(polygon N ^o 2; 5; 12; 16)
Exceed allowable closure by 20-30 cm	20.1%
	(polygon N ^o 1,3,10)

The result a polygons error determines which levelling order a particular polygon route will belong /Table 2/.

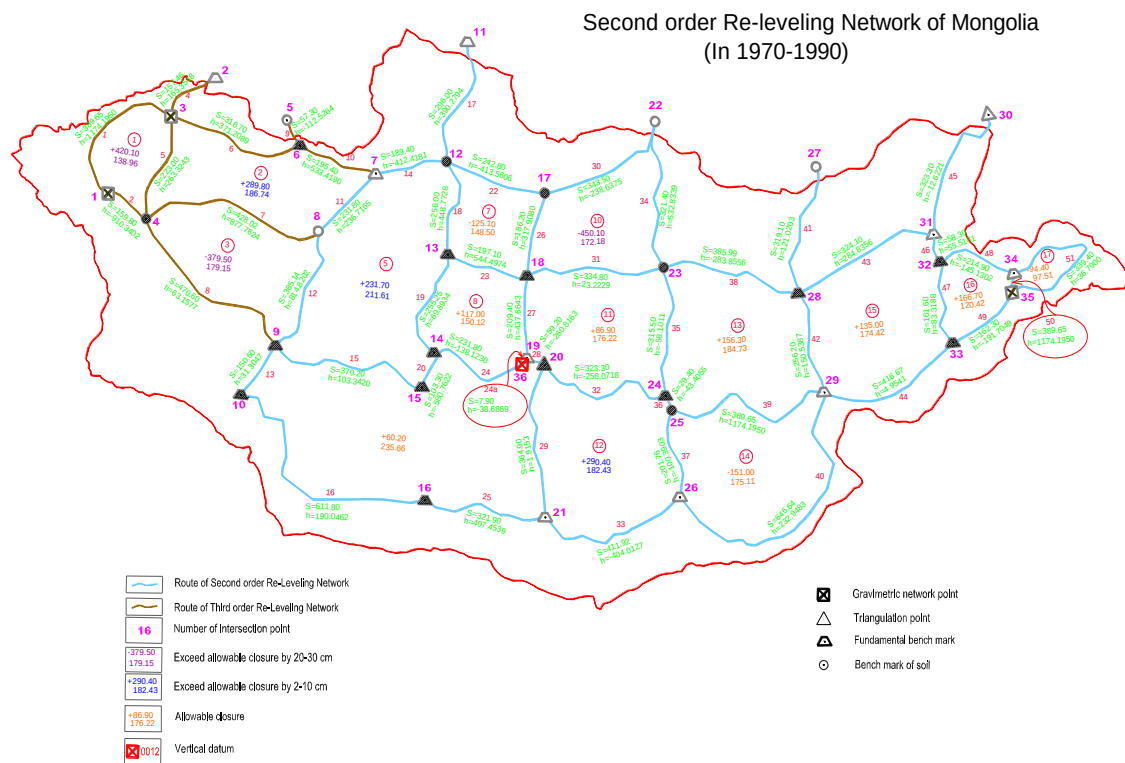


Figure 3.

Table 2. Loop error of levelling

Polygon N ^o	Loop error	Permissible misclosure	Providing in which levelling class
1	420.10	±555.84	4 ^d
2	289.80	±373.48	3 rd
3	-379.50	±358.29	3 rd
4	1142.90		Not provide
5-9	See picture 2.		2 ^d
10	-450.10	±688.74	4 ^d
11-17	See picture 2.		2 ^d

Pre-adjustment data screening techniques are mainly based on the examination of condition equation misclosures together with the experiences and intuition of the surveyors.

4. Least squares network adjustment

Net adjustment of new data (1974-1991) for second order Leveling Network using “Nivelir” software.

The new data of second order levelling network was adjusted using the “Nivelir” software in 2000. Mr. B.Enkhbaatar was the programmer of the “Nivelir” software, whiles working for “MobiCom” corporation. This software based on the parametric method, which is one of least square methods.

The number of station position in line levelling or distance line levelling determined weight measurement. Following formula is:

$$P = \frac{c}{n}; \quad \text{or} \quad P = \frac{c}{L}; \quad [3]$$

c—constant number, It is choose $c = 1$ in calculation.

n-number of station position in the levelling route.

L-distance of levelling route, by kilometer.

For the 1974-1991 re-levelling project, it was instructed that the 6 Russian levelling points would be the starting points of re-levelling. Those same points were used as the starting points for the 1945-second order Levelling Network. The loop error of the resulting survey that consists of the Russian and Mongolian levelling route was 1 meter, which is not acceptable as per specification used.

Given the huge loop error for the said survey, the new data of second order Levelling Network survey adopted the gravimetric point 0012 Arvaikheer Province as the vertical datum since it was established by high accuracy GPS technology.

Given the loop error of levelling in table 2, the adjustment shows that the levelling route polygons in the central and eastern part of the territory were accurate to second order levelling whilst the levelling route polygon on the western part of the territory were accurate to third order leveling (Figure 3).

Error of mean square in 1-km levelling route calculated following formula is:

$$(a) \quad m = \frac{\mu}{\sqrt{c}}; \quad \text{by} \quad P = \frac{c}{L}; \quad \text{and} \quad (b) \quad m = +\frac{\mu}{\sqrt{c}} \sqrt{\frac{[n]}{[L]}}; \quad \text{by} \quad P = \frac{c}{n}; \quad [4]$$

Where:

μ - Error mean square of unit weight,

$\mu = \sqrt{[PV^2]/z-u}$;

z - number of line in network levelling,

u - number of intersection point,

V – correction from calculation,

The resulting adjustment indicated that mean average square error of levelling in 1 km line was +6 mm in the second order and +10.1 mm in the third order Re-levelling Network.

I took part in re-network adjustment using new data (1974-1991) and Japan adjustment software “Lev-3”.

Its purpose was to check on the accuracy and quality of “Nivelir” software results for first net adjustment, also analysis and confirm to it.

The “Nivelir” software result of the net adjustment for the re-levelling new data (1974-1991) was not accepted and restricted for public use related to the following reason:

– The difference between the 1st and 2nd survey shows that there is a difference of 10 to 60 cm.

As such, the result of the 1st survey was taken as the more correct thus continued to be adopted and made available for public use.

I carried out the re-net adjustment using “Lev-3” software of the re-leveling new data, the polygons in the central and eastern parts of the territory (blue polygons, Ref to Figure 3.) were adjusted by adopting the second order levelling network, while the polygons in the western part of territory (brown polygons, Ref to Figure 3.) were adjusted by the adoption of the third order Leveling Network.

The resulting calculation indicates that mean average square error of leveling in 1 km line was +7.05mm in the 2nd order and +11.51 mm in the 3^d order Re-levelling network.

5. Quality analysis of the results

I mentioned the mean average square error of leveling in 1 km line was +6.0 mm, +7.05mm in the 2nd order and +10.1 mm, +11.51 mm in the 3^d order Re-leveling network on the table 2.

Average square error is a main character or necessary element of the network quality. The result of the first net adjustment is seen to be more accurately (6 mm).

The quality of the input observations was very grossly. Because error of mean square is a too big and a 46.7% of all loop error was exceeded allowable closure by 2-30 cm.

But I assumed the result of last re-net adjustment (B on the table 3.) that is more optimal and accurately than other results.

6. Study on Vertical Crustal Movements of Mongolia using Levelling data

The rate of the vertical crustal deformation is very important and useful in the field of seismology, geophysics, geomorphology, construction and other subjects of the infrastructure.

In Mongolia, determination of the rate of the vertical crustal deformation is very significant and beneficial for both theory and practice, which include the following.

- Determination of the seismic zone in the territory;
- Determination of the micro-zone in the territory of big city and region of industrial;
- Study of the symptom of pre- earthquake;
- Mineral research;
- Determination of the area for construct the industrial and the water construction;
- Determination of relationship of the geophysical field and the vertical crustal deformation;
- Study on the structure of the crust, and
- Monitoring of environment. Etc.

The rate of the vertical crustal deformation was determined by following formula:

$$dV = \frac{h_{\text{new}} - h_{\text{old}}}{dT}; \quad [5]$$

Where:

h_{new} – new data or measuring difference of height in 1974-1991

h_{old} - old data or measuring difference of height in 1940-1945

dT – time between two survey.

The allowable value of different of the two surveying is $\pm 9\sqrt{L}$ km. There are a several sections that were exceeded allowable value by 7.9 – 715.6 mm on the different routes. The total distance of these routes is 604.6 km. It is 4.31% of the total distance of the second orders Levelling Network.

Below 7 sections exceeded allowable value by 10 - 71.5 cm.

Table 4.

route number	Name of section	Distance of section, km	$h_{\text{new}} - h_{\text{old}}$ mm	Allowable value, mm
005	BM 0141-BM 1557	54.8	173.0	66.6
023	BM 186 – BM 42	7.7	-240.8	24.9
038	BM 1556 – BM 1743	99.9	-805.5	89.9
039	BM 1521 - BM 1524	49	-192.4	63
041	BM 1256 – CGP 371	12.8	157.5	32.2
041	BM 1346 – BM 1363	10	-147.2	28.5
046	BM 1030 – BM 1087	8.6	-381.5	26.3

7. Vertical Crustal Movement Map

I prepared Vertical Crustal Movement Map (Figure 4) using the difference of the old (1940-1945) and the new (1974-1991) levelling data.

The quality of the data use is not accurate and, the points number are too few and distance between two benchmarks is too far in the some place (especially in west of territory), and the length of time between old and new levelling is a too long which is 35-45 years.

Moreover, the different of the two surveying is exceeded allowable value on the several sections of the different routes.

This map is very necessary and serves as basis for the research of the Vertical Crustal Movement. Also The Vertical Crustal Movement Map is a very important for planning and management of the Levelling Network.

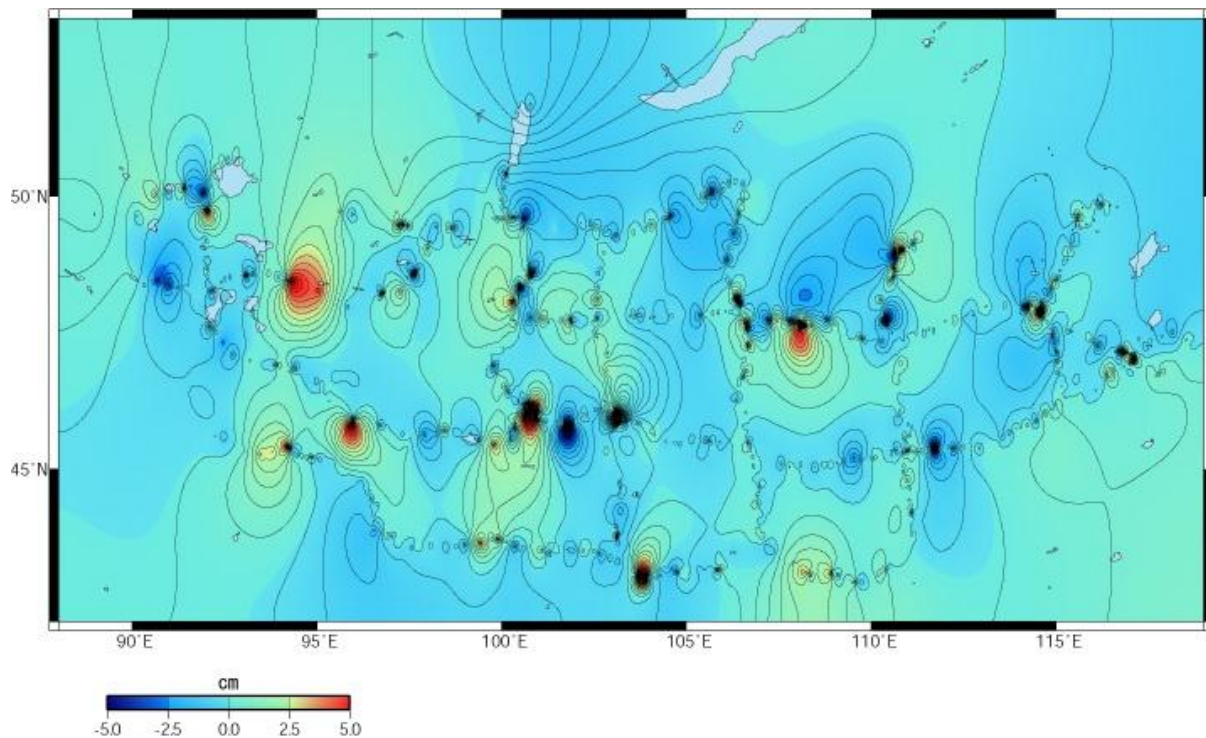


Figure 4. The Vertical Crustal Movement Map The contour interval is a 25 m.

8. Conclusion

The updating and maintenance of the Leveling Network is very difficult and very important activities for Mongolia with wide territory.

Disadvantage of the results:

- a. Starting point is a not actual. There don't have a vertical datum.
- b. The quality of the observation data is not accurately.

Because there is a 46.7% of all polygons loop error was exceeded allowable closure by 2-30 cm and error of mean square is too big – 7.05 mm in the second order and 11.51 mm in the third order.

- c. Density of the common points of two surveying is not enough. Especially in western part of the territory have a very few points.

- d. There are a two survey conducted and It is not enough for study on the Vertical Crustal Movements.

- e. The length of time between old and new levelling is a too long or 35-45 years.

Advantage:

- a. The result of the re-net adjustment is giving us a possibility to update the old data (1940-1945). It is a very necessary for second order Leveling Network of Mongolia.

- b. The Vertical Crustal Movement Map is a first try for research of the vertical motions using leveling data.

- c. Also the Vertical Crustal Movement Map is very necessary for planning and management of the Leveling Network.

The reason of the disadvantage:

– Starting point of two leveling networks (old and new) was different. The first leveling network's vertical datum was based on the heights of the 6 points of the Russian second order-leveling network. The possibility of error of height transfer might have been accumulated due to the fact that the datum used was thousands of km away. Re-leveling network's vertical datum was a the Gravimetric point 0012 of Arvaikheer province /Central area of Mongolia/

– There were a many earthquakes. For example: In the Southern part of Mongolia, there had been earthquakes with magnitude between 3.3 to 8 on the Richter's scale which had occurred for about 130 times between 1944 and 1990. Movement of landmass due to these earthquakes may have also contributed to the differences previously mentioned.

– Re-measurements work took 15 years to be completed and during that time many people measured one line of levelling network at various times which is a wrong approach to height measurement.

– The re-levelling was completed 13 years. Re-measurement usually took place every 5 to 10 year. It is now 21 years down the track with out a re-levelling.

References

1. Bombard Guy. GEODESY // Fourth edition. Oxford Science Publications. -1980.
2. Демьянов Г.В. Концепция развития системы нормальных высот // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. -2003. -№3.
3. Демьянов Г.В., Бровар Б.В. и др. Модель гравитационного поля Земли // НИИГАиК, ГАО-98. Научно-технический сборник по геодезии, аэрокосмическим съемкам и картографии. Физическая геодезия. ЦНИИГАиК. Москва. -1999.
4. Demianov G.V., Tatevian S.K. Integrated Geodinamical Network in Russia (Scientific Objectives and Realisation) // Phys.Chem.Earth. vol. 25. -2000. -№12,
5. Еремеев В.Ф. К вопросу об определении нормальных высот // Труды ЦНИИГАиК. -1965. -№157.
6. Еремеев В.Ф. Теория ортометрических, динамических и нормальных высот // Труды ЦНИИГАиК. -1951. -№86.
7. Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Теория высот в гравитационном поле Земли // Москва. Недра. -1972.
8. Hitoshi Kume. MANAGEMENT BY QUALITY // ZA Corporation. Japan. -1995.
9. INSTRUKTSIYA PO WICHESLENIYU NIVELIROVOK // GUGK. SSSR. -1971.
10. S.D.Khilko. I.Baljinnyam I dr. Zemletryaseniya I osnovi seismicheskogo raionirovaniya Mongolii // Moskwa. Nauka. -1985.
11. Petr Vanicek, Edward Krakiwsky. GEODESY (the concepts) // Second edition. Elsevier Science Publishers B.V. -1986.
12. Paul R. Wolf, Charles D.Ghilani. ADJUSTMENT COMPUTATIONS // Statistics and Least Squares in Surveying and GIS. Wiley-Interscience. -1997.
13. REPORT OF THE RE-LEVELLING AND NET ADJUSTMENT OF THE SECOND ORDER LEVELLING NETWORK OF MONGOLIA // Ulaanbaatar. ALAGaC. -2001.
14. Shanlong Kuang. GEODETIC NETWORK ANALYSIS AND OPTIMAL DESIGN (concepts and applications) // Sams Publications Sterling, Illinois. -1996.
15. N.V.Yakovlew, N.A.Bespalow, W.P.Glumow I dr. PRAKTIKUM PO WISSHEI GEODEZII // Moskwa. Nedra. -1982.
16. <http://www.asiarecipe.com/moninfo.html>

НЕМЕЦКИЙ ПОДХОД К ИНТЕГРИРОВАННОЙ КАДАСТРОВОЙ СИСТЕМЕ В КОНТЕКСТЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Хаген Графф

DVW GmbH, Beim Grootsee 38, D-22455, Гамбург, Германия, главный представитель Союза немецких геодезистов (DVW), дипл.-инж., тел. +49 40 5553765, e-mail: hagen.graeff@gmx.de

Йенс Риекен

DVW GmbH, c/o Innenministerium NRW, Haroldstr. 5, 40213 Дюссельдорф, Германия, вице-президент Союза немецких геодезистов (DVW), дипл.-инж., тел. +49 211 / 871 2625, e-mail: jens.riecken@mik.nrw.de

Описывается новая автоматизированная информационная система кадастра недвижимости ALKIS, предназначенная для замены старых кадастровых систем в Германии, которая будет внедрена в 16 землях до 2013 г. после миграции всех данных в новый формат. Рассматривается новый подход к интегрированной кадастровой системе в контексте инфраструктуры пространственных данных.

Ключевые слова: интегрированная кадастровая система, регистр кадастра недвижимости, ALKIS, геоportal, инфраструктура пространственных данных.

GERMANY'S APPROACH FOR AN INTEGRATED CADASTRE SYSTEM IN THE CONTEXT OF SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE (SDI)

Hagen Graeff

DVW GmbH, Beim Grootsee 38, D-22455 Hamburg, Germany, Chief Representative of DVW, Dipl.-Ing., tel: +49 40 5553765, e-mail: hagen.graeff@gmx.de

Jens Riecken

DVW GmbH, c/o Innenministerium NRW, Haroldstr. 5, 40213 Düsseldorf, Germany, DVW Vice President, Dipl.-Ing., tel.: +49 211 / 871 2625, e-mail: jens.riecken@mik.nrw.de

The new Authoritative Real Estate Register Information System (ALKIS) is described. It will replace the old systems ALB and ALK and be implemented till 2013 in all 16 states in Germany after migration all data in the new format. New approach for an integrated cadastre system in the context of spatial data infrastructure (SDI) is considered.

Key words: integrated cadastre system, immovable property register, ALKIS, geoportal, SDI.

1. Development of the Cadastre

In Germany the taxation issue was the reason to establish a cadastre system, followed by the needs to establish a property cadastre. It is a parcel based system where all information is geographically referenced to unique, well defined units of land. The cadastre, based on cadastral surveying, shows the division of the ground in maps and contains describing information about the status of the property (location, size, land use etc.).

Therefore the immovable property register contain the describing part of the cadastre. Both systems cadastre and immovable property register, in combination are able to give a complete overview about legal and de facto situation of land.

Both systems are constantly updated and kept consistent.

2. ALKIS

Although cadastre is in Germany in the responsibility of the 16 states the computerized systems are unique with some small exceptions. These systems are the automated cadastral map (ALK) and the automated parcel register (ALB).

Maps and registers are fully digitized in Germany. The systems are harmonized in all 16 states.

Since 2006 a new project called ALKIS (Authoritative Real Estate Register Information System) is developed and will replace the old systems ALB and ALK. ALKIS will be implemented till 2013 in all 16 states (nowadays 9 states working with the new system after migration all data in the new format).

ALKIS is a project of the AdV (Working committee of the surveying authorities of the Federal Republic of Germany). The GIS – Industry and customers interests are involved in the development. It uses ISO and OGC standards and has a system-unrepentant interface.

ALKIS store all information - graphical and describing - in one object-orientated database system in compliance with the standards set by ISO/TC 211 and the Open Geospatial Consortium. It is the fundamental part of the 3A-data model which also contains geodetic reference points and topographical information.

3. ALKIS and SDI

To provide the 3A data model as a fundamental part of the emerging German Spatial Data Infrastructure (SDI-Germany, GDI-DE) is one of the current challenges of the German cadastral administration working on.

Many steps are done but many steps must be done in the next years to fulfill the needs of a European Spatial Data Infrastructure as defined in the INSPIRE directive.

The public geospatial data are already variously used and widely available at different geoportals.

By integration of various datasets in the ALKIS data model or using the same or similar (standard based) methodology the use and further processing of the public geospatial data will be simplified substantially.

The main reason is the consistent application of standardized web services like WMS and WFS for providing the data.

Essential advantages are:

- Ensure investment safeguarding,
- Vendor independence,
- Definition of universal, browser readable interface for all public geospatial data to provide object oriented data in interoperable formats,
- Cadastral information becomes a core database that can easily be combined or extended with other data. It is therefore a big step to the SDI of Germany.

КОМПЛЕКСНОЕ АДМИНИСТРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕДВИЖИМОСТЬЮ В БАКУ

Ингольф Бурштедде

14050, Берлин, Лейстиковское шоссе 6, Берлин, Германия, доктор-инженер, почетный проф. СГГА, моб. +49 / 171 / 5526 113, тел. +49 / 30 / 3641 0552, факс: +49 / 30 / 3641 0553, email: ibu@gmx.com

Дается общее описание предпосылок, компонентов и задач комплексного административного управления недвижимостью. Рассматриваются и анализируются деловые партнёры и процессы. Определяется современная форма организации, распределения служебных функций и функций управления объектами. В заключении рекомендуется внедрение специального программного обеспечения в ежедневный процесс работы.

Ключевые слова: деловые партнёры, бизнес процессы, организация, инструментальные средства, программное оборудование.

CORPORATE REAL ESTATE MANAGEMENT IN BAKU, AZERBAIJAN

Ingolf Burstedde

Prof. h.c. Dr.-Ing., Leistikowstraße 6, 14050 Berlin, Germany, mobile: +49 / 171 / 5526 113, tel: +49 / 30 / 3641 0552, fax: +49 / 30 / 3641 0553, email: ibu@gmx.com

A general description of the background, the components and the goals of corporate real estate management is given. The usual business partners and business processes are described and analyzed. A modern form of organization, separating the service functions and the object management functions, is defined. Finally it is recommended to implement specialized software to support the daily work.

Key words: business partners, business processes, organization, tools / software

1. INTRODUCTION

This paper is based on a consulting contract in Baku, Azerbaijan in November / December 2011. The client was a private company being responsible for the management of different business centers and residential real estate. As its business activities are expanding right now, the company was interested to professionalize its business processes and organization.

2. WHAT IS CORPORATE REAL ESTATE MANAGEMENT?

Corporate Real Estate Management (CREM) refers to the success and value-based purchasing, managing and marketing of real estate which belongs to companies, whose main business does not have a property-specific focus.

2.1. Background

During the last 20 years there was a large restructuring of the economy worldwide. This process is still going on. An unusually high level of capital is related to this process. In this context the own property of a company is more and more considered as an important resource for the financing needs of businesses. To-day we see a total of five corporate resources: Work, Capital, Technology, Information and **Real Estate**.

The understanding of the resource “property” has changed significantly in the last years. The classic property management has been replaced by an independent corporate business unit, or at least by a profit center with market-level management. In this sense we speak today of “Corporate Real Estate Management”, in which a profit or a value contribution to the economic success of the company is in the foreground. It should be noted that a large portion of real estate worldwide is in the ownership of companies.

Taking into account, that corporate cash money is sometime blocked or invested on a long term basis, the corporate real estate has become one of the important factors supporting the company with liquid capital.

As a result of this, the property related departments had to be professionalized. Some of them were outsourced as independent profit centers.

2.2.Components of the CREM

Corporate Real Estate Management is a goal-oriented grouping of different instruments. Depending on the structure and orientation of each company, there are mainly three important components of CREM:

- Information Management is the information about markets, competitors and users, and detailed analysis based thereon.
- Corporate Land Management is the quantitatively and qualitatively optimal use of the existing areas including self use, rental, sale, demolition, new construction, area expansion, area reduction etc.
- Facility Management (FM) is the integrated and comprehensive management (= operation) of properties, divided into Commercial, Technical and Infrastructural Facility Management.

2.3.Goals of CREM

The main goal for the Corporate Real Estate Manager is to generate a monetary benefit for his company. That means in specific:

- Recognising and realising of so-called “non-operating real estate”,
- Detecting of cost reduction potentials wherever,
- Realising gains without changing or disturbing the core business of the company,
- Searching the lowest possible vacancy in the company’s real estate,
- Looking for expandability, flexibility and adaptability to changes in the company’s business,
- Increasing the profitability of the company as a whole and thus making a significant contribution to corporate success,

- Minimizing of long term real estate costs,
- Avoiding unused, unnecessary, inefficient or occupied property,
- Creating of functional and cost effective options for future expansions,
- Generating cash flow,
- Generating tax benefits and finally
- Managing the property efficiently.

2.4.CREM as a planning tool

Corporate Real Estate Management is not just an operating task. It also has a planning component. During the time of construction of a new building it is always important to find the right balance between two different, sometimes excluding goals:

- Minimizing the constructing cost and
- Minimizing the future operation cost.

The constructor is always interested to complete the building within his budget or even below. The corporate real estate manager, however, must be interested to minimize the future operation cost, before the building is finished. Examples:

- A painted façade is cheap in construction but expensive in maintenance.
- Some materials for the floors inside a building are cheap to be installed but very expensive to be cleaned.
- Open space in a building reduces the construction cost but requires useless cost
- For cooling, heating, maintaining and cleaning.

He, as the “Voice of the future tenant”, takes over an important role in the planning team, where he has to fight for:

- Enough parking space,
- A high degree of flexibility in the building’s use,
- Optimal room partitions,
- An attractive interior design (materials, colors, decorations),
- Modern technical equipment (for example: high speed internet cabling),
- Energy saving power supply systems etc.

3. BUSINESS PARTNERS

The business processes during operation are considered to be Facility Management (FM) as described in Chapter 2.2. The business partners of the facility manager are: the owner, the tenants and external partners as for example power supply companies, technical service companies or others (see Fig.1):

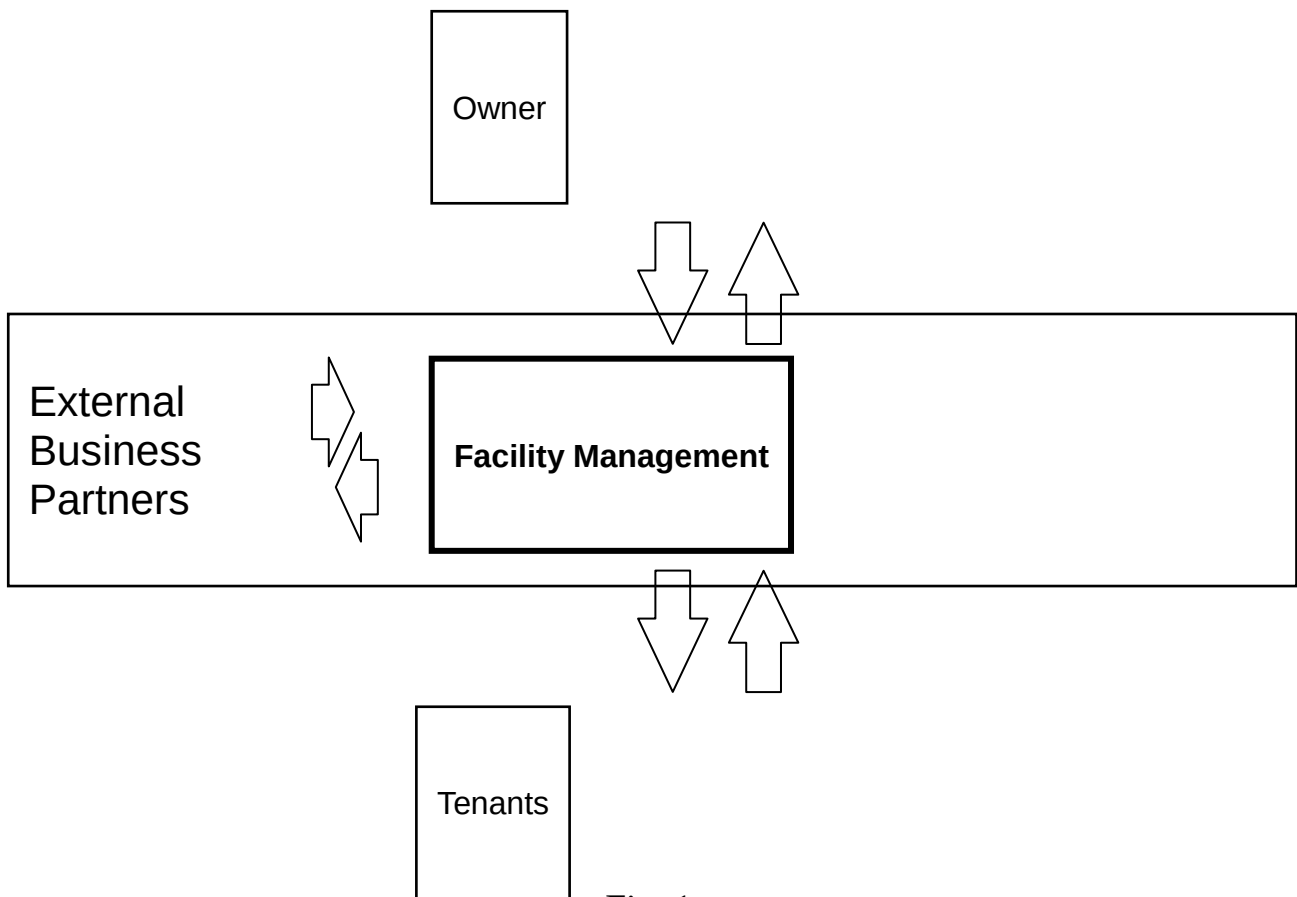


Fig. 1

4. BUSINESS PROCESSES

The business processes between the partners are divided into Commercial Facility Management, Technical Facility Management and Infrastructural Facility Management as already said above.

4.1.Commercial Facility Management

The field of commercial facility management includes the following processes:

Annual budgeting

This is the economic plan for the following year. The budget should include and specify the estimated cost for personnel, material, services, maintenance, repairs, representation etc. depending on the owner's requirements. The owner himself has to check, if necessary correct and finally approve the budget.

Contract management

This includes all kind of contracts as for example: lease contracts with the tenants, supply contracts with the energy supply companies for electricity and water, contracts with insurances, service contracts with private or public companies for technical maintenance and others.

Procurement

If not managed by a centralized organization unit in the company, the commercial facility manager will be responsible for the purchasing of goods, materials and services as well as for the management of tender procedures and the evaluation of offers.

Finance accounting

This is the normal bookkeeping procedure in accordance with the existing local rules and regulations.

Inventory

Inventory means the documentation (and permanent updating!) of all fixed and movable equipment, which belongs to the building.

Controlling, reporting, benchmarking

That is the calculation and analyse of key numbers for different business fields as for example: “area cost per user”, “total operation cost per sqm and year”, “maintenance cost per sqm and year”, “energy cost per sqm and month”, “cleaning cost per sqm and year”, “grade of occupancy in %” and many more.

Space optimization

The commercial facility manager has to check permanently, how the building is used and whether the existing space can be optimized.

Invoicing / money transfers

Finally all kind of invoices and money transfers have to be directed as for example: the coming in invoices for electricity and water consumption, internet use etc. as well as the going out invoices for the tenants’ rent and extra cost.

4.2. Technical Facility Management

Technical maintenance

The technical facility manager is responsible for all kind of technical planning, operation, maintenance and repair. That includes: electricity, water, telecommunication, internet, intranet, lifts, other building equipment etc. in the whole building (public area and tenant’s area).

Technical supervision

That is the instruction and supervision of the workers (painters, carpenters, electricians etc.) from external business partners.

Energy optimization

The technical facility manager has to look permanently for possible solutions to reduce the energy cost as much as possible.

4.3. Infrastructural Facility Management

Cleaning

The infrastructural facility manager is responsible for the cleaning of all public areas in the building. It can also include the cleaning of the tenant's areas on their demand.

Front desk

A front desk service for the reception, control and information of external visitors of the building should be provided.

Security

The building has to be protected and controlled by security personnel as well as the parking area(s).

Further possible services

It should be considered, whether the company is able and willing to offer additional services to the tenants and their customers, once the building is in use. This could be: catering, kitchen services, move services, transportation, courier services, conference room services or event management (i.e. exhibitions, jubilees or other events). The total offer of services makes the building more attractive for the tenants and enables them to get concentrated on their core business.

5. ORGANISATION

A modern FM-organization should take over the structure of the described business processes in Chapter 4 and, at the same time, the different operational objects of the company, such as the different business centers, shopping malls, underground passages etc.

On the left side there are the so-called Service Departments (commercial, technical and infrastructural facility management). These functions should be able to handle their business processes as described in Chapter 4.

On the right side there are the so-called Object Managers, representing the company "face-to-face" to the customers / tenants in the different objects.

Normally the object managers do not have own personnel. The personnel are concentrated in the service departments. So, their employment can be directed in a more flexible way.

The more general working functions Marketing/Sales and Human Resources are considered to be a so-called staff position reporting directly to the CEO.

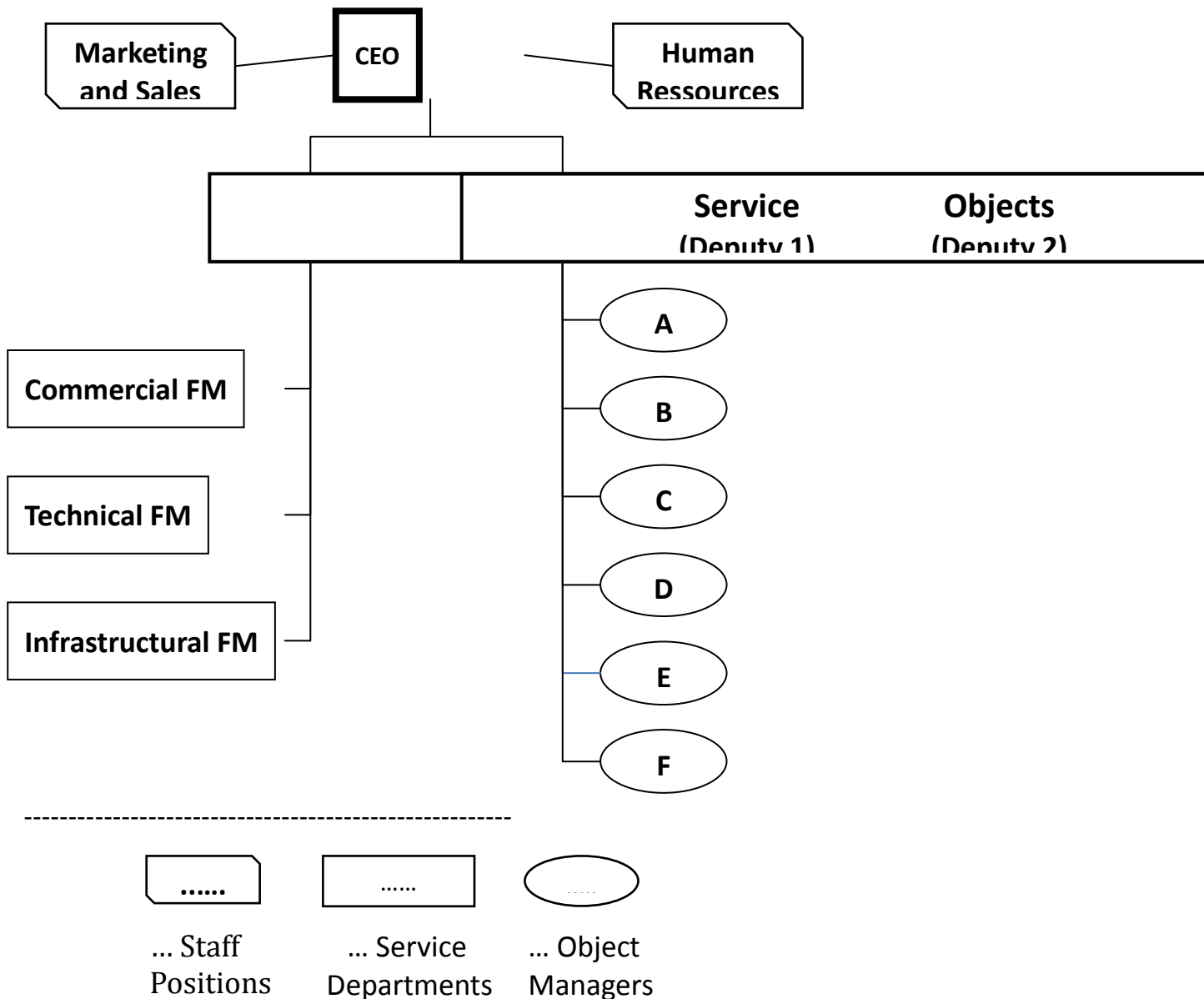


Fig. 2

6. CAFM - SOFTWARE

A **CAFM** (Computer Aided Facility Management) system is needed to support the business processes of the company in a professional way. In Germany there are at least 20 different CAFM-systems on the market, as for example:

AcadGraph, Aperture, Arcadis, Archibus, Archikart, AT+C, Axserion, Bentley Sytems, BFM-Key Logic, Byron, Cideon, Com In, conject, eTASK, FaciWare, FMCD, iffm, IMSware, infas, enermetric, INFOMA, Kessler, KMS, Loy & Hutz , N+P, Nemetschek, OneTools, pit-cup, Planon, sLAB-EuSIS, SMB, sonixc, spee-dikon FM, Syskoplan, Topdesk, Voigtmann, 5DInfo and others.

All these systems offer different but similar software modules especially programmed for the daily needs of the facility manager.

7. FINAL REMARKS

All these recommendations cannot be implemented in short time. It is a process of years, until everything is running smoothly. The existing organization has to be changed; the business processes have to be defined in detail; the responsibilities have to be fixed; the technical specifications for the new software have to be worked out; the software has to be implemented; the personnel has to be skilled; rules and regulations have to be worked out etc. etc.

At the end there is a great chance that the business of Corporate Real Estate Management is running more efficiently than before, that the service quality will be improved distinctly and that a high percentage of internal cost will be saved.

BIOGRAPHICAL NOTES

Studies:

- Studies of Geodesy at Technical University, Berlin

Professional stations:

- German Development Institute, Berlin
- CERN, European Centre of Nuclear Research, Geneva, Switzerland
- UNESCO, Yogyakarta, Indonesia
- Technical University, Berlin
- German Society for Retreatment of Nuclear Waste, Hannover
- Stadtwerke Düsseldorf AG, Düsseldorf
- IBU Consult Ltd., Berlin (own company)

Academic degrees:

- Dipl.-Ing. (TU Berlin)
- Dr.-Ing. (TU Berlin)
- Prof. h.c. (Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk, Russia)

Memberships:

- VGB - Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V., Essen (Chairman of the Committee „Surveying“; 1984-93)
- AIV - Architekten- und Ingenieurverein Düsseldorf e.V. (Member of the Executive Committee; 1999-2005)
- DVW - Deutscher Verein für Vermessungswesen (Member)

Publications:

- Various publications about geodetic networks and information systems

Actual activities:

- Lecturing (Siberian State Academy of Geodesy, Novosibirsk, Russia)
- Consulting (Iran, Russia, Namibia, Albania, Indonesia, Azerbaijan)

CONTACTS

Prof. h.c. Dr.-Ing. Ingolf Burstedde
Leistikowstraße 6, 14050 Berlin, Germany
Mobile: +49 / 171 / 5526 113
Tel: +49 / 30 / 3641 0552
Fax: +49 / 30 / 3641 0553
Email: ibu@gmx.com

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ТЕМЕЛИН

Иржи Лехнер

Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии, Ústecká 98, 250 66 Zdíby, Чешская Республика, заведующий отделом, тел. (00420) 284890330, e-mail: jiri.lechner@vugtk.cz

Карел Радей

Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии, Ústecká 98, 250 66 Zdíby, Чешская Республика, директор института, тел. (00420) 284890302, e-mail: karel.radej@vugtk.cz

Описана проблематика наблюдений за осадками турбогенератора мощностью 1000 МВт атомной электростанции Темелин. Описаны цели наблюдений, соответствующие нормативные документы, необходимые точности измерений и используемая измерительная система с блок-схемами, разработанная в Чешской Республике.

Ключевые слова: измерение смещений, гидростатическое нивелирование, инженерная геодезия, безопасность на электростанциях.

AUTOMATED HYDROSTATIC SYSTEM AT THE NUCLEAR POWER STATION TEMELÍN

Jiří Lechner

Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, Ústecká 98, 250 66 Zdíby, Czech Republic, Head of Department, tel. (420)226-802-330, e-mail: jiri.lechner@vugtk.cz

Karel Raděj

Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, Ústecká 98, 250 66 Zdíby, Czech Republic, Director, tel. (420)226-802-302, e-mail: karel.radej@vugtk.cz

This paper deals with measurement of vertical displacements on the 1000 MW turbogenerator of the nuclear power plant Temelín. It is given an overview of regulations, purpose of measuring shifts, required accuracy and technical description of the measuring system including its schemes.

Key words: measurement of displacements, hydrostatic leveling, engineering geodesy, safety at power plants.

1. Введение

В Чешской республике вопрос мониторинга смещений (вертикальных деформаций) строящихся объектов с технологической и законодательной точки зрения регламентирован чешскими техническими стандартами (носящими рекомендательный характер) CSN 73 0405 "Измерение смещений строительных сооружений" и CSN 73 1001 "Основание сооружений. Грунт под плоскими фундаментами". Стандарты устанавливают требования к измерениям изменений в положении и форме (смещений и деформаций) зданий и их частей

от положения и формы зданий в основном или предыдущем этапе измерений, вызванных деформациями грунта под зданием и вокруг него в результате строительной или иной деятельности, вызванных статическими, динамическими и сейсмическими нагрузками или другими воздействиями на здание. Стандарт CSN 73 0405 действителен для всех типов зданий и сооружений, для которых отсутствуют конкретные стандарты. Стандарт не применяется для измерений при:

- а) Нагрузочном тестировании строительных конструкций,
- б) Оползнях,
- в) Измерении изменений геометрических параметров фактических характеристик зданий во время строительных работ, которые определяются при контроле точности в соответствии с другими стандартами CSN.

2. Цель измерения смещений

Целью измерения смещений зданий и сооружений является:

- а) Получение данных для оценки поведения грунта при строительных работах и воздействие строительства на близлежащие объекты,
- б) Сравнение значений фактического смещения с ожидаемыми значениями, рассчитанными в строительном проекте,
- в) Мониторинг состояния, функционирования и безопасности новых и уже существующих сооружений, находящихся под влиянием строительной деятельности в их близости.

Смещения зданий измеряются в процессе их строительства и после завершения работ:

- а) Если смещения имеют важное значение для безопасности и удобства использования здания или технологического оборудования,
- б) При использовании необычных или новых конструкций, таких как фундаментные плиты турбины для турбин мощностью 100 МВт и выше (CSN 73 1020), высотных зданий с высотой более 50 м (например, плотин),
- в) Если сооружения чувствительны к воздействию сдвигов или построены в неблагоприятных геологических условиях,
- г) Если они построены на подрабатываемых территориях (CSN 73 0039), и это измерение соответствует значению и важности объекта.

Для каждого сооружения, на котором будут проводиться измерения необходимо составить проект измерений с разработкой цели и типа измерений, определить величины предполагаемых смещений, определить необходимую точность измерения с априорным анализом, установить метод стабилизации точек, разработать временной план измерений и т.д.

Атомная электростанция Темелин относится к уникальным техническим сооружениям, где были внедрены новые технологические устройства, применены новые конструктивные решения и где были использованы новые технологии строительства.

Основной блок электростанции состоит из здания реактора (площадь 68 х 68 м, высота 66 м), механического отделения (128 х 49 х 42 м) распределителя (98 х 22 х 31 м) и теплообменника (48 х 17 х 26 м).

Здание механического отделения имеет стальной каркас. В этом здании расположена турбина и связанные с ней обслуживающие устройства неядерной части электростанции.

Строительная конструкция разделена на части:

а) Фундаментная плита - железобетонная конструкция с размерами 61,1 х 16,4 х 2,7 м;

б) Пространственная рамная железобетонная конструкция, состоящая из 2 х 8 колонн, закрепленных в фундаментной плите на отметке -5,1 м, колонны в их верхней части соединены продольными и поперечными балками.

Продольные балки на уровне 10,95 м оснащены 86 виброизоляторами и 26 вязкозными амортизаторами GERB (система гибкого расположения, с помощью которой можно корректировать положение турбины в горизонтальной плоскости);

в) Верхняя плита основания турбогенератора при +15 м это железобетонная плита со встроенными крепежными элементами, которая имеет внешние размеры 60 х 16 х 3,5 м.

3. Точность измерений

Точность измерения смещений зданий характеризуется значением допуска на определения длины результирующего вектора смещения или его составляющих. Величина допуска определяется значением

$$\delta_1 \leq 2/15 p, \quad (1)$$

где p – ожидаемое суммарное смещение или его составляющая в мм. Для устройств с высокими требованиями к их стабильности, надежности, безопасности и экономичности эксплуатации, величина допуска δ устанавливается индивидуально, на 1 / 3 точнее.

Значение допуска измерения смещений уже эксплуатируемых сооружений находящихся в районе строительной деятельности, не должно превышать

$$\delta_2 \leq 2/5 p_k, \quad (2)$$

где p_k - критическое значение смещения в мм, при котором возникает угроза разрушенияследуемого объекта.

4. Стационарная автоматизированная гидростатическая измерительная система

На основе точностных требований к стабильности (в высотном отношении) технологического оборудования и конструкции машинного отделения с расположенным там турбогенератором мощностью 500 МВт и 1000 МВт и фундаментной плиты здания реактора были НИИ геодезии, топографии и картографии в сотрудничестве с другими организациями разработаны измерительные датчики HUNI и INVA , точность которых можно

охарактеризовать стандартным отклонением измерения высоты в рамках всей системы измерения (до 100 м) $\sigma \leq \pm 0,05$ мм.

Стационарная автоматизированная гидростатическая измерительная система состоит из гидростатических датчиков HYNi, которые соединены шлангами с жидкостью и кабелями для передачи данных и питания.



Рис. 1. Соединённые датчики HYNi

Количество датчиков в измерительной системе определяется в зависимости от конкретного случая и к системе может быть подключено в общей сложности 126 датчиков. В связи с возможностью измерения вертикальных смещений на разных высотных уровнях в систему могут быть включены измерительные датчики INVA, с помощью которых отдельные высотные уровни могут быть связаны в одну систему и может быть осуществлён постоянный контроль изменений взаимоположения разных высотных уровней. Оценка смещений происходит автоматически путём определения положения опорных точек и на основе анализа данных измерений определяется их стабильность.

Важной особенностью измерительной системы является непрерывность измерений без вмешательства оператора. Сбор данных осуществляется в заранее определенные промежутки времени и измеряемые величины могут быть просмотрены в любое время без прерывания программы измерений.

4.1. Технические данные датчика

Размеры: высота: 270 мм, ширина: 205 мм, глубина: 275 мм

Отверстия для ввода кабеля: P16

Соединения для подачи жидкости и воздуха 1 / 2 "

Вес датчика: 13 кг

Питание датчика: от 18 до 30 В постоянного тока, 0,5А

Диапазон измерений: от 10 до 90 мм

Точность: $\pm 0,05\text{мм}$

Разрешающая способность датчика: $0,001\text{мм}$

Коммуникация: RS 485 – двух проводное подключение

Диапазон рабочих температур: от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$

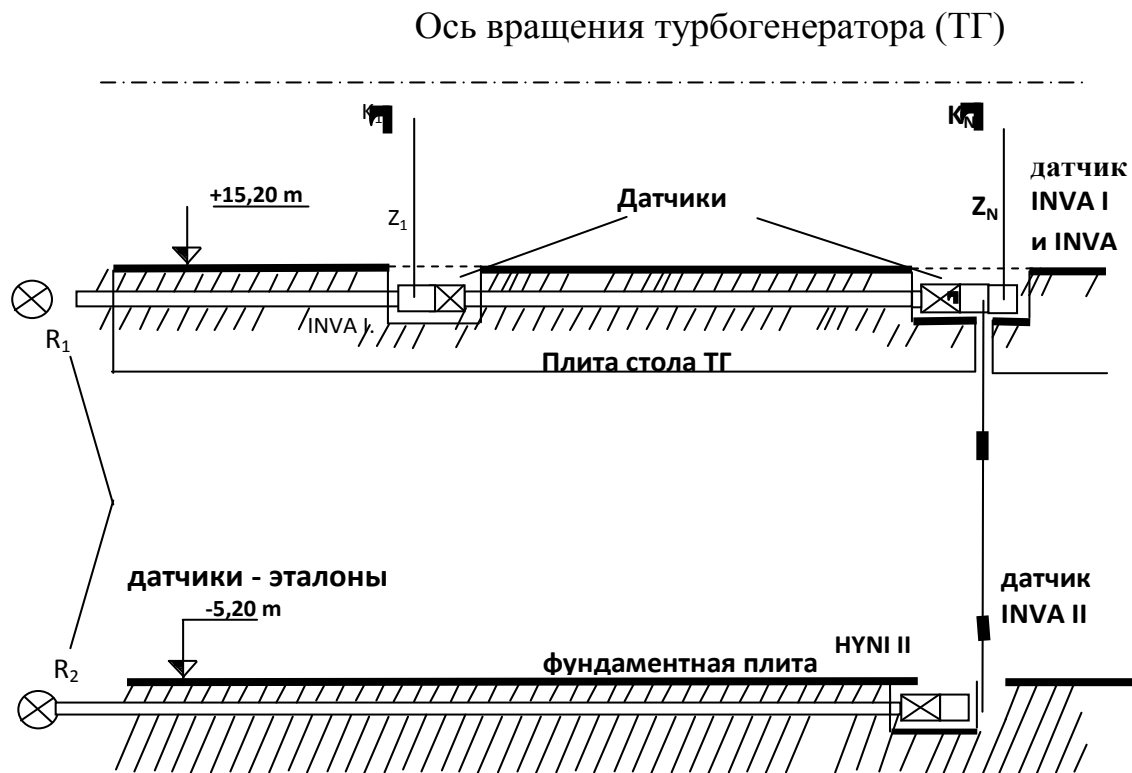


Рис. 2. Схема связи датчиков НУНИ и INVA по высоте на ТГ

- - Взаимосвязь высотных уровней с помощью инварного оборудования
- - Датчик температуры
- └ - Консоль
- - Соединение датчиков
- - Датчики INVA I, II

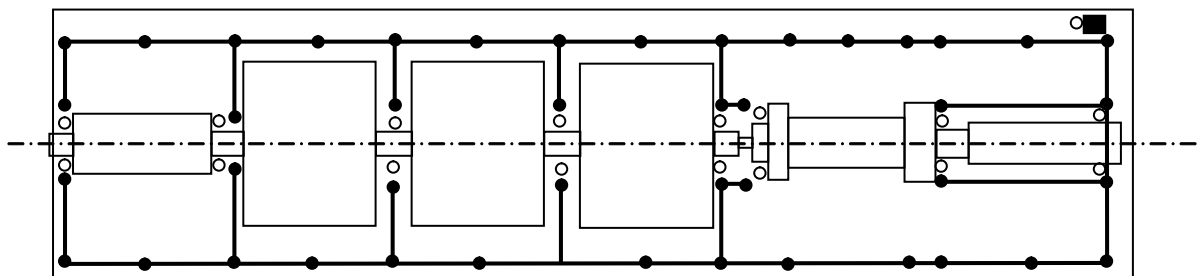


Рис. 3. Система НУНИ на уровне +15,00 м машинного отделения (план)

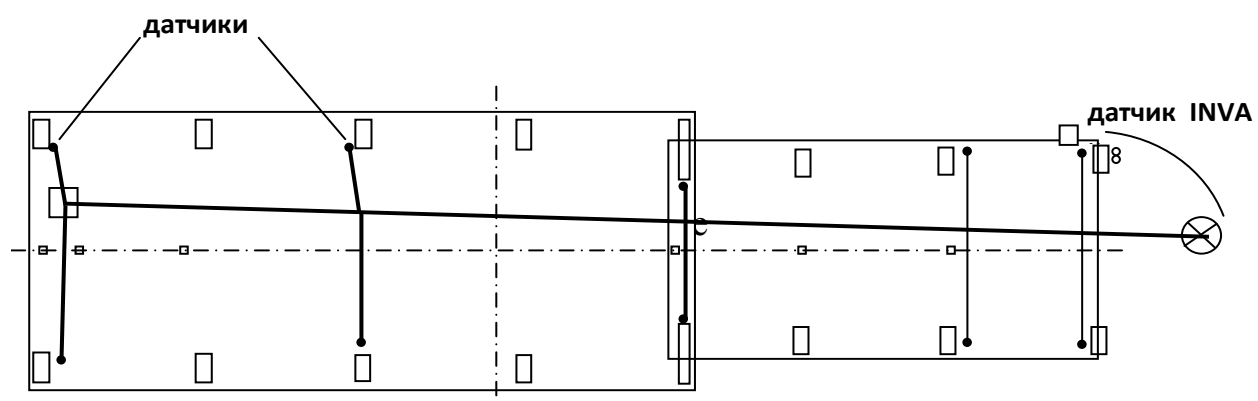


Рис. 4. Уровень -5,20 м машинного отделения (план)

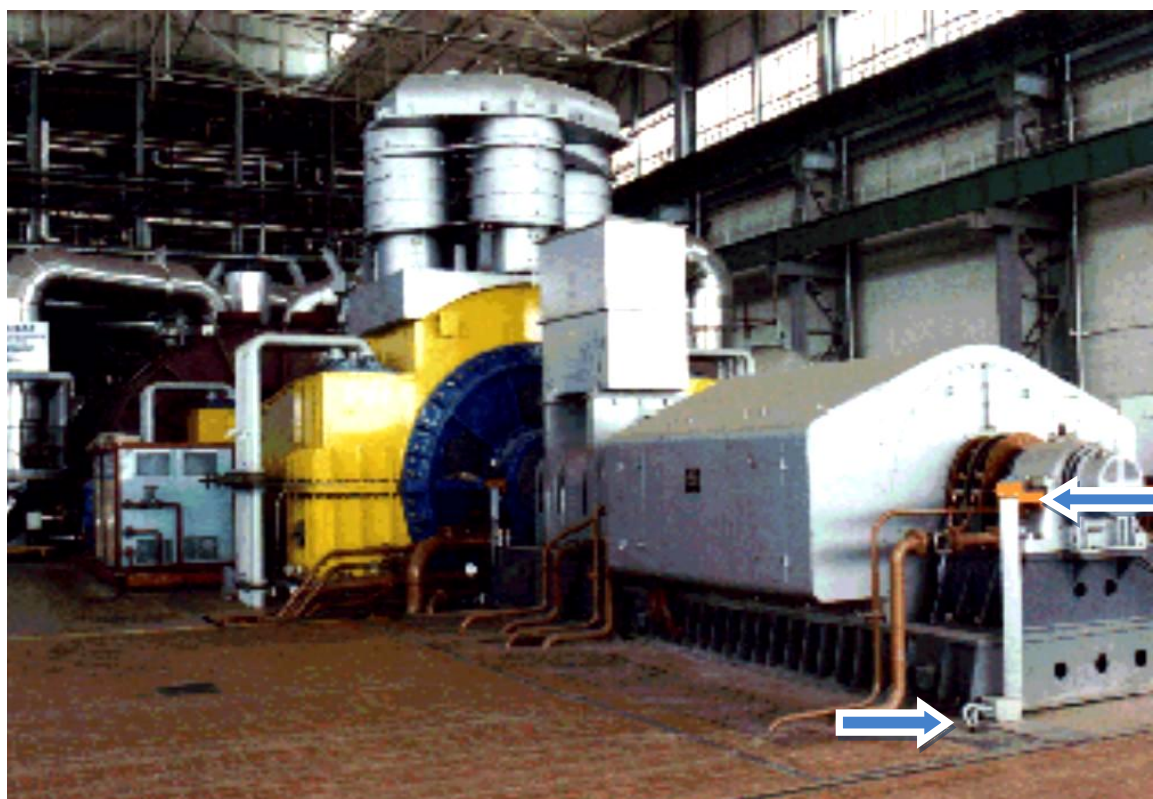


Рис. 5. Устройство датчика INVA на уровне +15,00 м машинного отделения

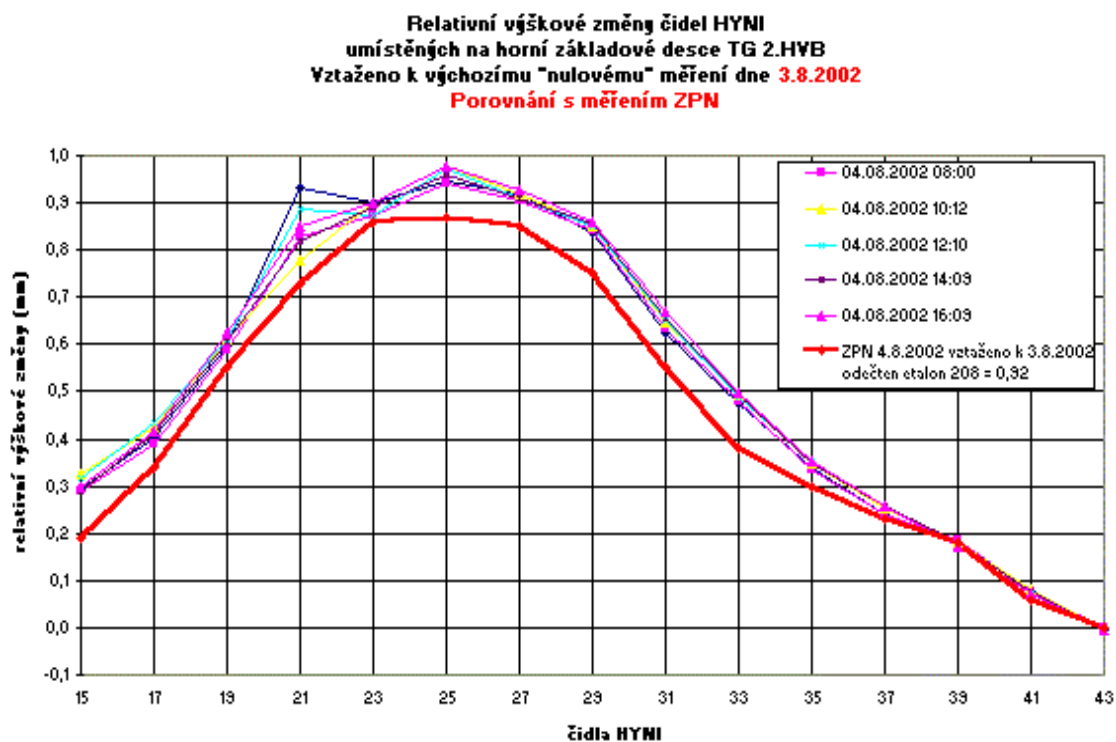


Рис. 6. Сравнение результатов измерений измерительной системой и высокоточным геометрическим нивелированием (ВГН.- красная кривая)

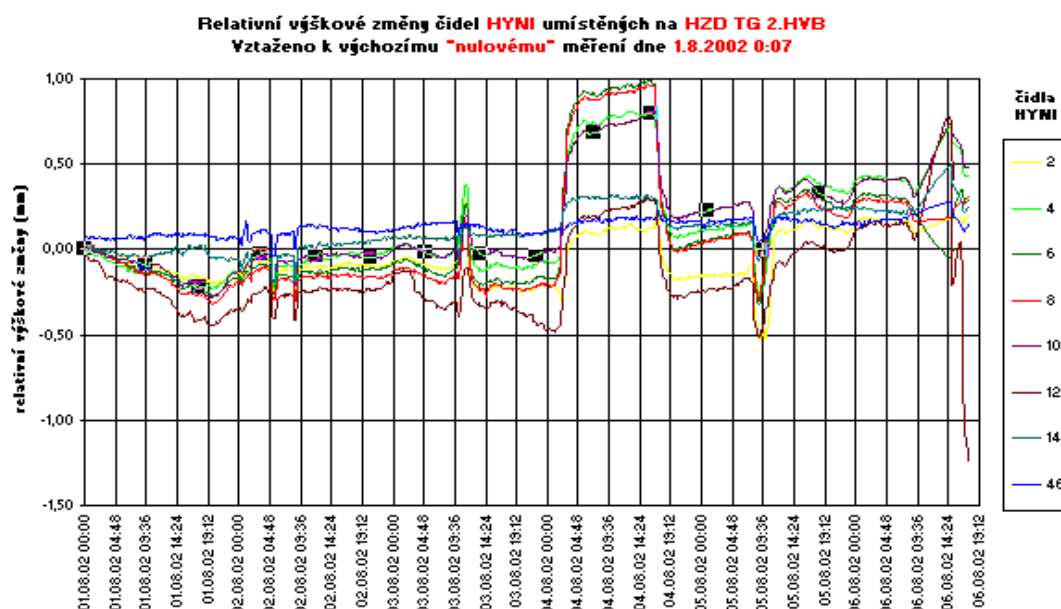


Рис. 7. Запись данных осадок системой HYNi при выпуске и напуске конденсатора ТГ

5. Заключение

Результаты измерений используются для систематического и эффективного технического обслуживания, а также обеспечивают документирование в целях повышения безопасности и надежности турбогенератора и продлевают срок его службы. Из результатов оценки деформаций нижней фундаментной плиты следует, что деформация не превысила 20% от величин установленных стандартом CSN 73 1020.

Деформации верхней фундаментной плиты в сравнении с критериями стандарта достигают максимально 70% их величины и в значительной мере обусловлены изменениями температурного поля основы - ТГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. CSN 73 0405 Измерение смещений строительных сооружений
2. CSN 73 1001 Основание сооружений. Грунт под плоскими фундаментами.
3. CSN 73 1020 Проектирование фундаментов вращающихся машин.
4. CSN 73 00 39 Проектирование зданий и сооружений на подрабатываемых территориях - основные положения.

© И. Лехнер, К. Радей, 2012

ВЫБОР ПРОЕКЦИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ МОНГОЛИИ

Оюунцэцэг Даш

Горно-инженерный институт Монгольского университета науки и технологии, Бага Тойруу 34, Сухбаатарский район, г.Улаанбаатар, Монголия, зав. кафедрой геодезии и маркшейдерии, кандидат технических наук, доцент, тел. (976)11-452-485, e-mail: daoyunaa@must.edu.mn, daoyunaa@yahoo.com

Улзийсайхан Ганболдын

Горно-инженерный институт Монгольского университета науки и технологии, Бага Тойруу 34, Сухбаатарский район, г.Улаанбаатар, Монголия, преподаватель кафедры геодезии и маркшейдерии, тел. (976) 11-452-485, e-mail: ulziis.m@gmail.com

В статье рассмотрен вопрос о выборе конической проекции с двумя стандартными параллелями для тематических карт Монголии, определены искажения, а также построена сетка.

Ключевые слова: параметры проекции, стандартные параллели, искажения, эллипсоид.

THE RATIONALITY OF MAP PROJECTION FOR THEMATIC MAPS IN MONGOLIA

Oyuntsetseg Dash

Mongolian University of Science and Technology, School of Mining Engineering, Baga Toiruu 34, Sukhbaatar district Ulaanbaatar, Mongolia, Head of Department of Geodesy and Mining Surveying, PhD, Professor, tel. (976) 11-452-485, e-mail: daoyunaa@must.edu.mn

Ulziisaikhan Ganbold

Mongolian University of Science and Technology, School of Mining Engineering, Baga Toiruu 34, Sukhbaatar district, Ulaanbaatar, Mongolia, Lecturer, Department of Geodesy and Mining Surveying, tel. (976) 11-452-485, e-mail: ulziis.m@gmail.com

For simplicity of description, most of this article describes the select of map projection with two standard parallels for thematic maps, as forth based on mathematic methods and determines the distortion value such as distance, area and direction.

Key words: parameter of projection, distortion, standard parallel, ellipsoid.

A thematic map is a type of map or chart especially designed to show a particular theme connected with a specific geographic area. Thematic maps are often described as small scale, typically soil, physical, social, political, cultural, economic, sociological, agricultural, road of Mongolian maps at a scale of 1:2500000.

A main thing of creating map is choosing map projection. It depends on geography of Mongolia and purpose. It normally used WGS-84 reference ellipsoid. Conformal normal conic projection with standard two parallels, it is a good choice thematic maps at a scale of 1:2500000 of Mongolia. As such it has straight line

meridians and circumference parallels with one circle center. The reason of choose map projection as follows are:

1. Mongolia is the world's 19th largest country. It mostly lies between latitudes 41° and 52°N, and longitudes 87° and 120°E. So it necessitates a conical projection.

2. The developable surface may also be either tangent or secant to the sphere or ellipsoid. Tangent means the surface touches but does not slice through the globe; secant means the surface does slice through the globe. If latitude continued along between 6°- 8°, recommend to use conical projection with standard a parallel. And if latitude continued along between 10°- 30°, recommend to use conical projection with standard two parallels. About continued latitude of that $\lambda_w - \lambda_e = 120^\circ - 87^\circ = 33^\circ$, because conical projection with standard two parallels is the best.

3. Main standard parallels are chosen by theory of Kavraisky V, such as follows:

$$\varphi_1 = 45^\circ$$

$$\varphi_2 = 49^\circ$$

Mongolian thematic maps normally require a conformal projection, because it is used for education purposes. Hence, conformal conic projection with two standard parallels is more suitable for Mongolian thematic maps at a scale of 1:2500000.

Parameters of that are:

$$\alpha = 0.731504204$$

$$\tilde{N} = 11726990.7\text{m (on surface)}$$

$$469,079628 \text{ cm (on map)}$$

This projection shows distances and areas accurately. Result of estimation, distance (μ) and areal (ρ) distortions (on the standard parallels) as follows are:

$$\mu = 0.99999$$

$$P = 1.00001$$

It is conformal conic projection, so distortion of direction is nothing. The correlation of distance and areal distortion of other parallels are shown in Fig. 1.

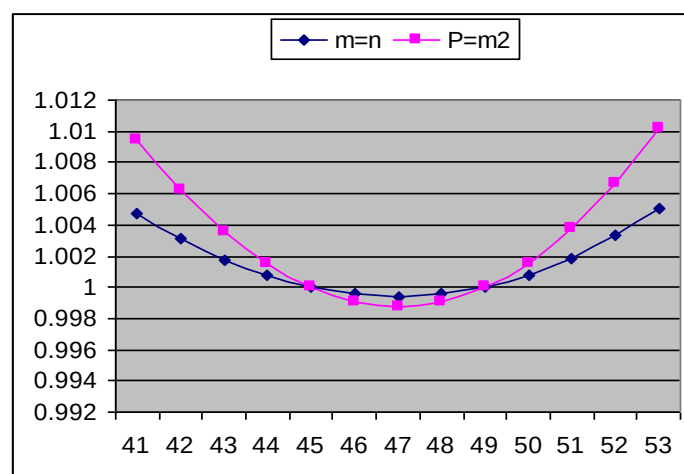


Figure 1. Distortion of areal and distance

The true grid of latitude and longitude represent is as follows: a map scale is 1:2500000, and a thematic map has two standard parallels, conformal normal conic projection. We used AutoCAD 2010 and calculated the projection grid by X and Y coordinates.

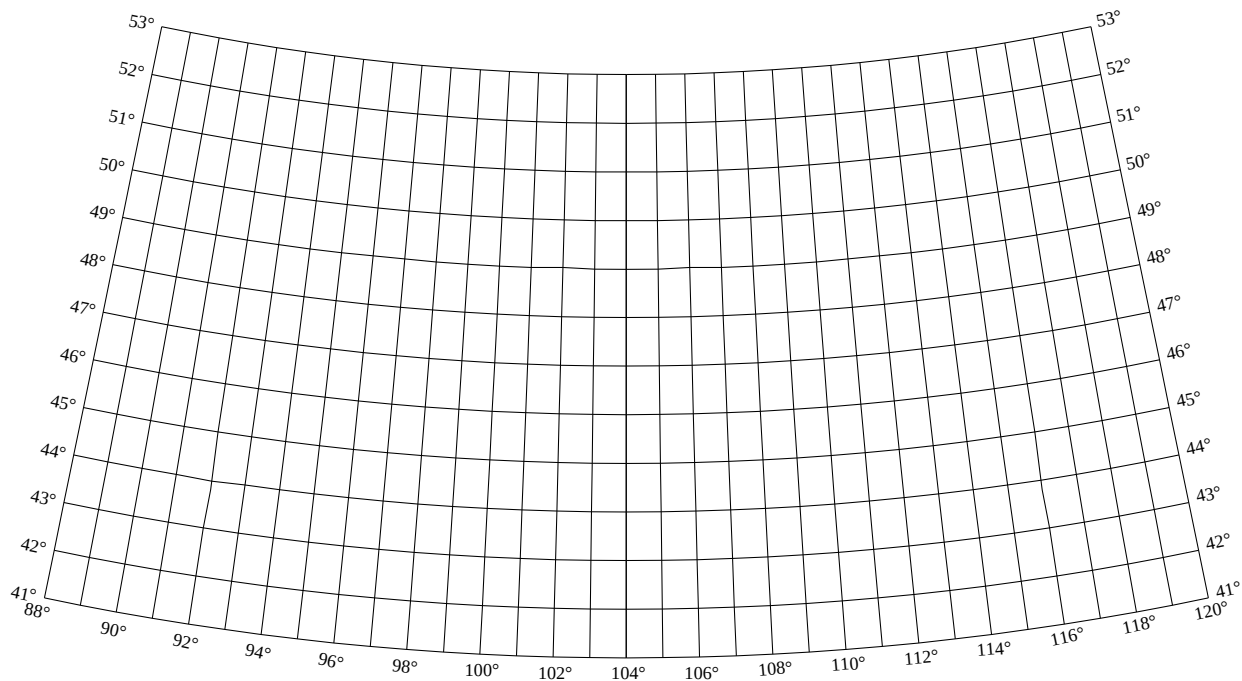


Figure 2. Grid lines of latitudes and longitudes

Conclusion

We took WGS-84 ellipsoid as the reference and chose standard parallel number 45° and 49°. The chosen conformal conic projection has no angle distortion ($w=0$) among the standard two parallels, the distance and areal distortion are adequate. Furthermore, these distortions of among the other parallels are adequate. Therefore, we recommend using this projection in industry and education. Besides, this projection is more suitable for production of thematic maps at a scale of 1:2500000.

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ – ОСНОВА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МОНГОЛИИ

Оюунцэцэг Даш

Горно-инженерный институт Монгольского университета науки и технологии, Бага Тойруу 34, Сухбаатарский район, г. Улаанбаатар, Монголия, зав. кафедрой геодезии и маркшейдерии, кандидат технических наук, доцент, тел. (976)11-452-485, e-mail: daoyunaa@must.edu.mn, daoyunaa@yahoo.com

В статье рассматривается процесс создания цифровой топографической карты на территорию Монголии в масштабе 1:200000.

Ключевые слова: топографическая карта Монголии, цифровые топографические карты, мировая система WGS-84.

TOPOGRAPHIC MAPS – THE BASE OF THE SPATIAL DATA GIS OF MONGOLIA

Oyuntsetseg Dash

Mongolian University of Science and Technology, School of Mining Engineering, Baga Toiruu 34, Sukhbaatar district Ulaanbaatar, Mongolia, Head of Department of Geodesy and Mining Surveying, PhD, Professor, tel. (976) 11-452-485, e-mail: daoyunaa@must.edu.mn, daoyunaa@yahoo.com

The process of creation of a digital topographic map on the territory of Mongolia on the scale of 1:200000 is described.

Key words: topographic map of Mongolia, digital topographic map, world system WGS-84.

В настоящее время по мере расширения сферы применения ГИС-технологий в Монголии растет потребность в доступных и качественных цифровых топографических основах.

Цифровая топографическая информация – важнейший элемент информационного обеспечения и пространственного моделирования в ГИС. Цифровые топографические карты (ЦТК) часто ассоциируют с базовыми пространственными данными – основами, на которые наносят тематическую информацию.

Топографические карты обычно служат основой для составления тематических карт, цифровых моделей рельефа, цифровых моделей местности и цифровых карт – основ для ГИС. ГИС представляют исключительные возможности для интеграции и анализа информации.

Для успешной работы в ГИС требуется открытая информационная среда, четко прописанные стандарты на цифровые картографические основы, а также доступные для разных категорий пользователей банки цифровых пространственных данных.

Однако, ситуация, складывающаяся на рынке цифровой картографической и топографической продукции Монголии, еще далека от реальных потребностей. В

настоящее время в Монголии созданием и распространением цифровых карт занимаются различные организации, как государственные, так и частные, оцифровывая топографические карты по своему усмотрению. Следствием информационной разобщенности стало дублирование топографических основ разными ведомствами и организациями. При попытках обмена пространственными данными возникают трудности, связанные с совместимостью данных из разных источников в единой информационной среде. Нередко предлагаемые цифровые топографические карты пригодны, в лучшем случае, для визуального воспроизведения их бумажного источника и не выдерживают критики с точки зрения топологической корректности.

Одной из главных проблем является отсутствие описания координатной системы и параметров проекции, без которых невозможно совмещение данных в едином координатном пространстве.

Для успешной работы в ГИС требуется открытая информационная среда, четко прописанные стандарты на цифровые топографические и картографические основы, а также доступные для разных категорий пользователей банки цифровых пространственных данных.

Нами была создана цифровая топографическая карта на территорию Монголии в масштабе 1:200000. При разработке данной карты нами учитывались следующие положения:

1. Цифровая топографическая карта создавалась с учетом требований работы с пространственными данными в ГИС. Основная задача – дать правильное представление о местоположении, метрических параметрах и взаимоотношениях между пространственными объектами.

2. Требовалось оформление и печать бумажных карт на номенклатурные листы. Поэтому хранение данных было организовано также на номенклатурные листы.

3. Условные знаки для объектов были упрощены по сравнению с традиционными, поскольку сложные, многослойные условные знаки существенно тормозили вывод карты на экран.

4. Карта была составлена в формате программы ArcGIS10 и AutoCad2010.

При оцифровке карт главной проблемой встал вопрос о координатной системе и параметрах проекции. Если ранее координаты определялись в системе координат Красовского, то сегодня, с применением спутниковой навигации, требуется другая система исчисления. С 2010 года в Монголии все цифровые карты и модели должны создаваться во всемирной геодезической системе WGS-84, в проекции UTM. Так утверждено в законе “О геодезии и картографии” Монголии. Возникает необходимость пересчета координат из одной системы в другую. С 2011 году в Монголии приступили к реализации проекта по переходу на всемирную систему исчисления координат - WGS-84.

В процессе работы выяснилось, что, в первую очередь, в Монголии необходимо четко разделить понятия цифровой топографической карты (ЦТК) и цифровой модели местности (ЦММ), а затем утвердить технические руководства о новой системе координат и параметров проекции.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Анатолий Яковлевич Гиенко

СКТБ «Наука», Красноярский научный центр СО РАН, 660049, Красноярск, просп. Мира, 53, ведущий научный сотрудник, доктор географических наук, тел: (391-2) 43-45-12, 27-29-12, e-mail: angara@krsk.info

Геннадий Анатольевич Гиенко

Университет Аляски Анкоридж, 3211 Providence Dr., Anchorage, AK 99508, США, профессор кафедры геоматики, тел. (391-2) 43-45-12, 27-29-12, e-mail: afgg@uaa.alaska.edu

Михаил Олегович Говоров

Университет Острова Ванкувер, Building 100, 900 Fifth Street, Nanaimo, British Columbia, V9R 5S5, Канада, профессор, Тел. (250) 753-3245 доп. 2729, факс: +1 (250) 740-6170, e-mail: govorovm@viu.ca

В статье рассмотрены вопросы использования автоматической классификации материалов разновременной космической съемки для экологического картографирования и мониторинга изменения окружающей среды.

Ключевые слова: классификация изображений, идентификация изменений местности, экологический мониторинг.

GEO-INFORMATION AND CHANGE DETECTION TECHNIQUES FOR ECOLOGICAL ASSESSMENT OF NATURAL RESOURCES

Anatoly Ya. Gienko

Design & Technology Office «Nauka», Krasnoyarsk Science Centre of the SB RAS, 53, Prosp. Mira, Krasnoyarsk, 660049, Leading Scientist, *Doctor of Geographical Sciences*, tel. (391-2) 43-45-12, 27-29-12, e-mail: angara@krsk.info

Gennady A. Gienko

University of Alaska Anchorage, School of Engineering, 3211 Providence Dr., Anchorage, AK 99508, USA, Associate Professor, Department of Geomatics, Tel: +1 (907) 786 1919, Fax: +1 (907) 786-1079, e-mail: afgg@uaa.alaska.edu

Michael O. Govorov

Vancouver Island University, Building 100, 900 Fifth Street, Nanaimo, British Columbia, V9R 5S5, Canada, Professor, Tel: (250) 753-3245 Ext 2729, Fax: +1 (250) 740-6170, e-mail: govorovm@viu.ca

The paper addresses some aspects of automated image interpretation and change detection analysis for ecological assessment of environmental changes at the regional level.

Key words: image classification, change detection, environmental monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

В географо-экологических исследованиях гео-пространственные данные используются в качестве информации об окружающей природной среде и степени ее нарушенности. Одним из конечных продуктов технологического процесса обработки данных является дешифрованный снимок. Тематическая интерпретация космических снимков – процесс во многом неоднозначный и трудноформализуемый. На снимке отображается интегрированная, генерализованная картина местности. Космические снимки, применяемые в региональных географических исследованиях, обычно среднего и мелкого масштаба (разрешения), поэтому для расшифровки ситуации (объектов, явлений, процессов) используются преимущественно деципиентные, косвенные признаки дешифрирования.

Выполнение автоматизированной классификации многоспектральных изображений требует выполнения ряда как алгоритмических преобразований, так и логических операций визуального дешифрирования, раскрывающих существующие в природе взаимосвязи и взаимообусловленности. Таким образом, при работе со снимками приходится оперировать материалом, характеристики которого обусловлены комплексом тесно связанных между собой физических (природных) и технических условий съемки, а также географическими особенностями территории, включая степень ее изученности. От полноты учета этих факторов во многом зависит результативность и достоверность результатов тематической классификации космических изображений. В настоящей статье рассмотрены некоторые методы использования автоматической классификации космических изображений для идентификации, распознавания и картографирования изменения окружающей среды в районах интенсивной эксплуатации природных ресурсов Сибири.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РЕГИОНАЛЬНОМ МАСШТАБЕ

Среди сложных проблем современности особо выделяются экологические, затрагивающие жизненные интересы людей. В Сибири к наиболее нарушенным относятся ее южные равнинные части – Обь-Чулымское и Ангара-Енисейское междуречья: здесь сконцентрировано население, промышленное и сельскохозяйственное производства, развита транспортная инфраструктура. Предприятия этой урбанизированной зоны являются основными загрязнителями природной среды на площади более 500 тыс. км². Если рассматривать бассейн Енисея, то здесь четко выделяются 2 области, экологическое состояние которых вызывает озабоченность – по Енисею это территории вокруг Кызыла, Абакана, Красноярска и Канска, по Ангаре – в районах Иркутска - Черемхово, Братска и Усть-Илимска. В этих зонах кардинально преобразована гидрографическая сеть, в результате нерационального природопользования загрязняются воды, воздух и геологическая среда. Ситуация требует повышения уровня экологичности технологических процессов большинства промышленных предприятий региона.

Гидроэнергетика, способствующая бурному промышленному росту ранее неосвоенных регионов, вместе с тем оказывает негативное влияние на природу обширных территорий. К известным отрицательным последствиям строительства ГЭС, прежде всего, относится коренное преобразование речной сети и изменение водного режима рек, создание новых аквальных объектов, снижение природно-ресурсного потенциала регионов в связи затоплением пойменных земель, лесов и месторождений полезных ископаемых (разведанных и еще не выявленных), переселение людей, вынужденных изменять привычный образ жизни и т.д. К существенным негативным последствиям, связанным с созданием водохранилищ также относятся:

- Резкое уменьшение интенсивности водообмена на участках рек, где построены водохранилища, что снижает качество воды за счет накопления загрязняющих веществ в водоемах и донных отложениях, а также в связи с изменением характера внутриводоемных процессов;

- Замедление процесса самоочищения воды в реках. Например, вода в Енисее ниже Красноярска (на расстоянии 250-300 км) потеряла способность к самоочищению почти вдвое;

- Изменение (как правило, ухудшение) условий обитания водных животных, в том числе сокращение численности ценных видов рыб;

- Повышение уровня подземных вод в верхних бьефах, следствием чего является подтопление и заболачивание земель;

- Понижение уровня подземных вод в нижних бьефах, что приводит к размыву русел рек и осушению пойм;

- Изменение микроклимата в прибрежных зонах водохранилищ и их нижних бьефах. Особенно опасны туманы, провоцирующие образование смога (например, в Красноярске);

- Продолжающаяся практически неконтролируемая переработка берегов водохранилищ, с чем связана дополнительная потеря лесных и сельскохозяйственных земель.

К основным условиям и факторам, формирующим экологический фон в бассейне Енисея, относятся:

- Природные условия, которые определяют базовый экологический потенциал территории. На равнинах это тундровые, лесотундровые, таежные и лесостепные ландшафты (с различной степенью нарушенности); в горах – тундровые, пустынно-тундровые, редколесно-тундровые и таежные ландшафты (в основном сохранившие естественный потенциал геосистем);

- Объекты, обеспечивающие долговременную сохранность эталонных естественных ландшафтов – особоохраняемые природные территории (заповедники, заказники, национальные парки и др.);

- Антропогенно-техногенные объекты, оказывающие негативное воздействие на режим функционирования природных экосистем: локализованные (города и их промышленные зоны, ТЭЦ и др.); линейные

(железные и автомобильные дороги, газо- и нефтепроводы, ЛЭП); площадные (водохранилища, распаханые земли, открытые горные разработки и т.д.).

Многие преобразования имеют необратимый характер – например, восстановление прежних параметров речной сети, реконструированной в результате гидротехнического строительства, вряд ли возможно. Практика показывает, что последствия масштабного вмешательства в природные системы в процессе природопользования не всегда адекватно оцениваются как при планировании масштабного строительства, так и при проведении восстановительно-рекреационных мероприятий. Например, в результате гидротехнического строительства в Иркутской области значительная часть долины реки Ангара преобразована в каскад водохранилищ. Из зоны затопления перенесены сотни населенных пунктов, под водой оказались ценные долинные сельскохозяйственные угодья. В районах ГЭС выросли новые города, размещены промышленные предприятия с вредными производствами, на огромных площадях сведен лес, загрязнена вода, воздух и почвы. В результате зона воздействия ГЭС и водохранилищ распространилась на многие десятки километров. На рис. 1 приведены результаты автоматической классификации космических снимков, наглядно иллюстрирующие степень региональных изменений в районе крупного гидротехнического строительства в бассейне реки Ангара.

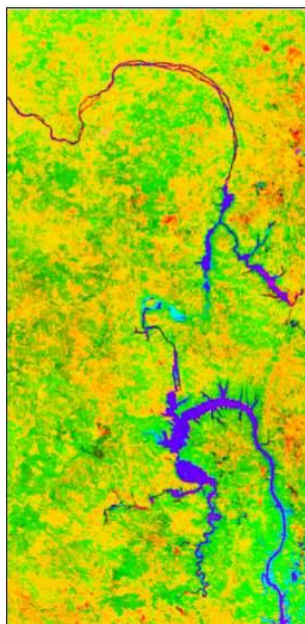


Рис. 1. Результаты автоматической классификации снимков Landsat, показывающие характер антропогенной нарушенности ландшафтов при гидротехническом строительстве и промышленных лесозаготовках регионального масштаба (Ангарский бассейн).

Массивы несведенного леса (зеленый цвет), занимают около 50% территории. Преобразованные ландшафты (вырубленные леса, селитебные зоны, сельскохозяйственные угодья) показаны оттенками оранжевого и светло-коричневого цвета. Результат классификации космического снимка в утрированных цветах дает наглядное представление о степени изменения растительного покрова в масштабах региона

Уникальные природные ресурсы Сибири (лес, полезные ископаемые, вода и др.) продолжают активно осваиваться, при этом на второй план отодвигается стратегический вопрос – сохранение естественной природной среды как главного природного ресурса, без которого невозможно социально-экономическое развитие территории в долгосрочной перспективе. К сожалению, тенденция нерациональной эксплуатации природных ресурсов Ангарского региона наблюдается и в других регионах Сибири, например в бассейне реки Енисей.

Наиболее острыми представляются проблемы рационального природопользования в южной, наиболее населенной части Енисейского бассейна - в отдельных районах участки разновременных вырубок леса занимают до 60-70% территории. Интенсивная эксплуатация лесных ресурсов, загрязнение водохранилищ сточными водами и затопленным лесом происходит с одновременным развитием неконтролируемых экзодинамических процессов на берегах водохранилищ: абразия берегов, оползни, овраги. В результате происходит дополнительное загрязнение поверхностных вод и сокращение площади лесных и сельскохозяйственных земель.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Задача идентификации и картографирования изменений местности является одной из задач, трудно формализуемых с картографической точки зрения, и также трудно реализуемой практически. Приемы картографирования изменений местности с использованием топографических карт основаны на применении специальных условных знаков и использовании отличающегося цвета (пурпурный) для отображения отдельных изменившихся элементов местности. Этот подход основан на концепции статического состояния местности и предполагает относительно незначительные изменения элементов местности с момента предыдущего издания карты. Такой подход ограничен особенностями содержания и технологии изготовления топографических карт и, как следствие, является трудоемким и экономически неэффективным. С точки зрения моделей данных принятых в ГИС, этот подход основан на использовании векторной модели данных.

В случае существенных изменений местности или при задаче периодического мониторинга целесообразно использовать методы, основанные на анализе и классификации разновременных аэро- и космических изображений. Эти методы базируются на использовании растровой модели данных ГИС. Растровые модели данных позволяют решать задачу мониторинга изменений с применением довольно эффективных методов и алгоритмов, используемых в системах анализа данных дистанционного зондирования.

Основные методы идентификации изменений местности на основе анализа разновременных аэро- и космических снимков можно условно подразделить на три группы: методы с использованием непосредственно только исходных изображений, методы с использованием результатов обработки изображений, и

методы использующие результаты картографирования по снимкам. Первые две группы целиком основаны на растровой модели данных, технологии последней группы используют растровые данные для выделения границ объектов в виде векторных объектов и последующей обработкой результатов картографирования на основе векторной модели данных.

Использование исходных изображений подразумевает выполнение различных алгебраических операций с синтезированными изображениями (или отдельными спектральными каналами), например вычитание (или деление) одного изображения из другого. Ненулевые пиксели результирующего изображения могут соответствовать положительным или отрицательным изменениям элементов местности. Интуитивная простота и привлекательность данного подхода довольно обманчива, поскольку на численные значения пикселей в исходных изображениях влияет множество факторов, связанных как с реальными изменениями состояния и местоположения объекта, так и условиями получения снимков и естественными сезонными изменениями местности.

Одним из подходов к решению этой проблемы является использование результатов предварительной обработки изображений. Сюда относится оценка динамики изменения местности на основе сравнения результатов классификации разновременных снимков, использование вегетационных и других индексов, использование метода РСА (метод главных компонент, при котором выполняется декомпозиция разновременных снимков на принципиальные компоненты, некоторые из которых могут содержать существенную информацию об изменениях местности), и другие. Эта группа методов является наиболее перспективной и интенсивно развивающейся.

При сравнительном анализе данных разновременного дистанционного зондирования уверенно выделяются наиболее изменяемые элементы местности, регистрируемые на материалах космической съемки. В частности, к ним относятся все нарушения естественного состояния лесных массивов, изменения землепользования, промышленное освоение территорий и прочее. Рисунок 2 иллюстрирует использование автоматической классификации разновременных космических снимков Landsat для мониторинга изменений местности в районе Красноярского водохранилища.

Сравнительный анализ результатов неуправляемой классификации показывает наличие существенных изменений местности, однако окончательное заключение может быть сделано после всестороннего анализа всех доступных методов определения изменений. Например, вегетационный индекс дает более полноценную картину дифференцирования растительного покрова и почв на фоне водных поверхностей (см. рис. 2). Для уточнения степени изменения конкретных объектов местности рационально использовать метод управляемой классификации с выбором обучающих полигонов. Рис. 3 иллюстрирует детали применения управляемой классификации на примере изучения динамики береговых процессов с использованием тех же исходных материалов.

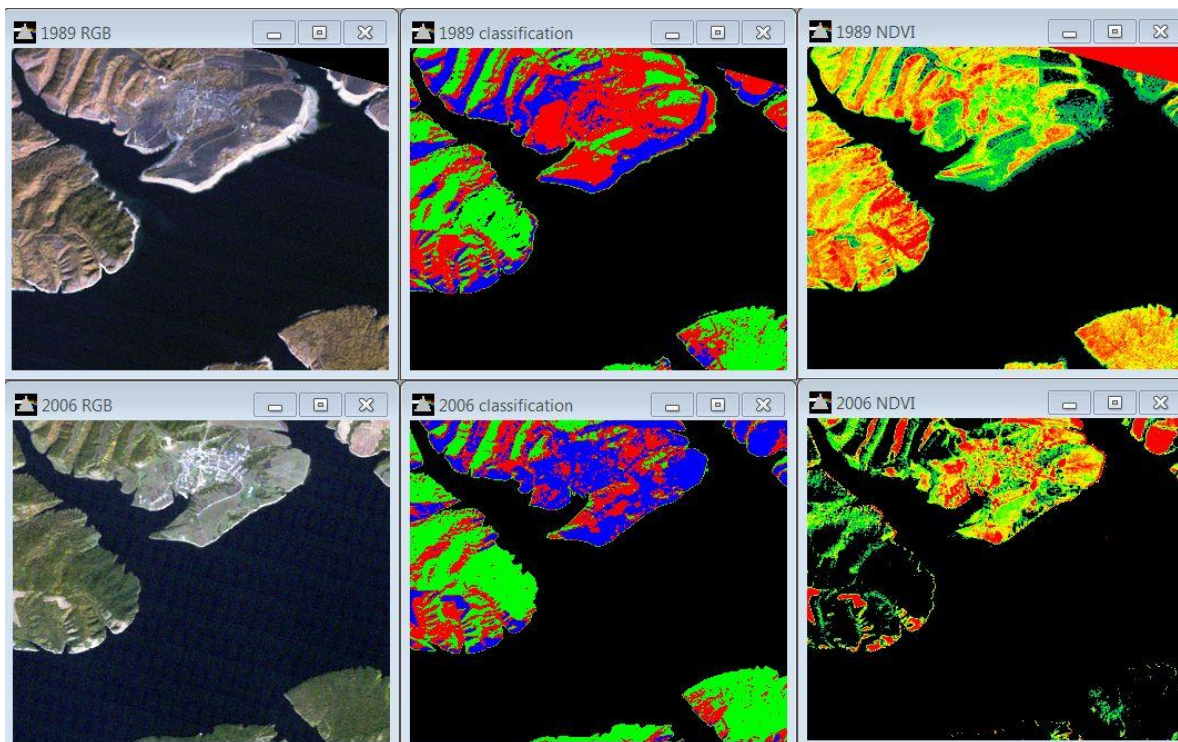


Рис. 2. Мониторинг экзодинамических процессов на берегах Красноярского водохранилища в районе залива Точильный с использованием снимков Landsat, полученных в 1989 и 2006 годах. Синтезированные снимки в естественных цветах (слева), результаты автоматической классификации (в центре), и вегетационные индексы (справа)

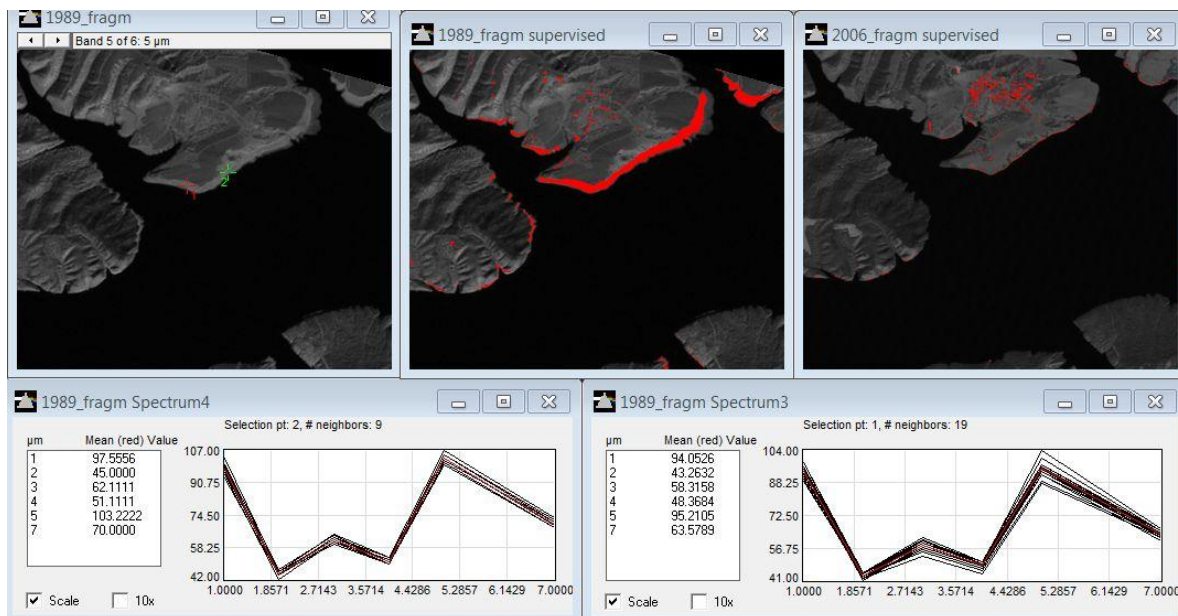


Рис.3. Мониторинг экзодинамических процессов на берегах Красноярского водохранилища в районе залива Точильный с использованием снимков Landsat (1989 и 2006 гг). Две опорные точки (эталон) использованы для построения обучающей выборки для классификации изображений. Приведенные графики показывают спектральные кривые каждой обучающей выборки

Как видно из приведенных иллюстраций, результаты автоматической классификации изображений тестового полигона показывают очевидные изменения конкретных элементов местности и могут быть использованы для количественной оценки площади и определения скорости изменений. Практические исследования показывают, что при сравнительном анализе данных разновременного дистанционного зондирования достаточно уверенно выделяются наиболее изменяемые элементы местности, регистрируемые на материалах космической съемки. В частности, к ним относятся все нарушения естественного состояния лесных массивов, такие как разновременные вырубки, гари, сельскохозяйственные земли, дорожная сеть, линии электропередач, и другие объекты.

Отслеживание динамики изменений местности с отображением разнородных категорий объектов с показанием положительных и отрицательных изменений (в терминах изменения положения, размера, площади и атрибутивного состояния), является сложной задачей, зависящей от определенного типа изменений в конкретном географическом регионе. Использование серии разновременных снимков, покрывающих значительные территории за существенный интервал времени является нетривиальной задачей с точки зрения картографической визуализации и требует дополнительных теоретических и практических исследований.

© А.Я. Гиенко, Г.А. Гиенко, М.О. Говоров, 2012

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОДЕЗИИ, ТОПОГРАФИИ И КАРТОГРАФИИ – ЕДИНСТВЕННЫЙ В ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Карел Радей

Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии, Ústecká, 98, 250 66 Zdiby, Czech Republic, директор, кандидат наук, тел. (420)226-802-302, e-mail: vugtk@vugtk.cz

В статье кратко описан Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии (Чешская Республика), его структура, задачи, направления научных исследований и некоторые выполненные исследования и разработки.

Ключевые слова: научные исследования, организация исследований, геодезия, геодинамика, инженерная геодезия, кадастр недвижимости, метрология, стандартизация, ГИС, картографо-геодезическая служба, Чешская Республика.

RESEARCH INSTITUTE OF GEODESY, TOPOGRAPHY AND CARTOGRAPHY - THE ONLY ONE IN THE CZECH REPUBLIC

Karel Raděj

Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, Ústecká, 98, 250 66 Zdiby, Czech Republic, Director, Candidate of Sciences, tel. (420)226-802-302, e-mail: Karel.Radej@vugtk.cz

The article briefly describes the Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography (Czech Republic), its structure, objectives, areas of research and selected research and development solutions.

Key word: research, organization studies, geodesy, geodynamics, engineering geodesy, metrology, standartization, cadastre of real estates, GIS, Service for Surveying, Mapping and Cadastre, Czech Republic.

1. Введение и общее описание

Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии (НИИГТК) создан 24 января 1954 г. и находится в г. Здибы в 3 км от Праги. С 1. 01. 2007 г. он действует на основе Закона № 341/2005 «Сб. об общественных научно-исследовательских учреждениях и Свидетельства об учреждении» от 13. 06. 2006 г. Учредителями НИИГТК являются Чешское землеизмерительное и кадастровое управление (ЧЗКУ), которое осуществляет контроль за его деятельностью через Надзорный совет. Председателем Надзорного совета обычно является заместитель председателя ЧЗКУ. Директор НИИГТК утверждается председателем ЧЗКУ по представлению Совета института на основе результатов открытого конкурса.

С 1.01.2007 г. НИИГТК включен в Перечень общественных научно-исследовательских учреждений, который ведет Министерство образования, молодежи и спорта Чешской Республики (ЧР) [5].

НИИГТК обеспечивает фундаментальные научные исследования и разработки в области геодезии, картографии и кадастра недвижимости (КН), разработку, испытания и внедрение новой техники, технологий и программного обеспечения и профессиональные консультации в таких областях как [4]:

- Геодезия и геодинамика;
- Постоянная служба GNSS (IGS);
- Инженерная геодезия;
- Создание и ведение КН;
- Исследования, разработка и совершенствование *„Информационной системы геодезии, картографии и кадастра“* как источника информационного регистра Государственной информационной системы ЧР;
- Метрология и стандартизация;
- Отраслевой информационный центр (ОИЦ) и *„Землеизмерительная библиотека“*.

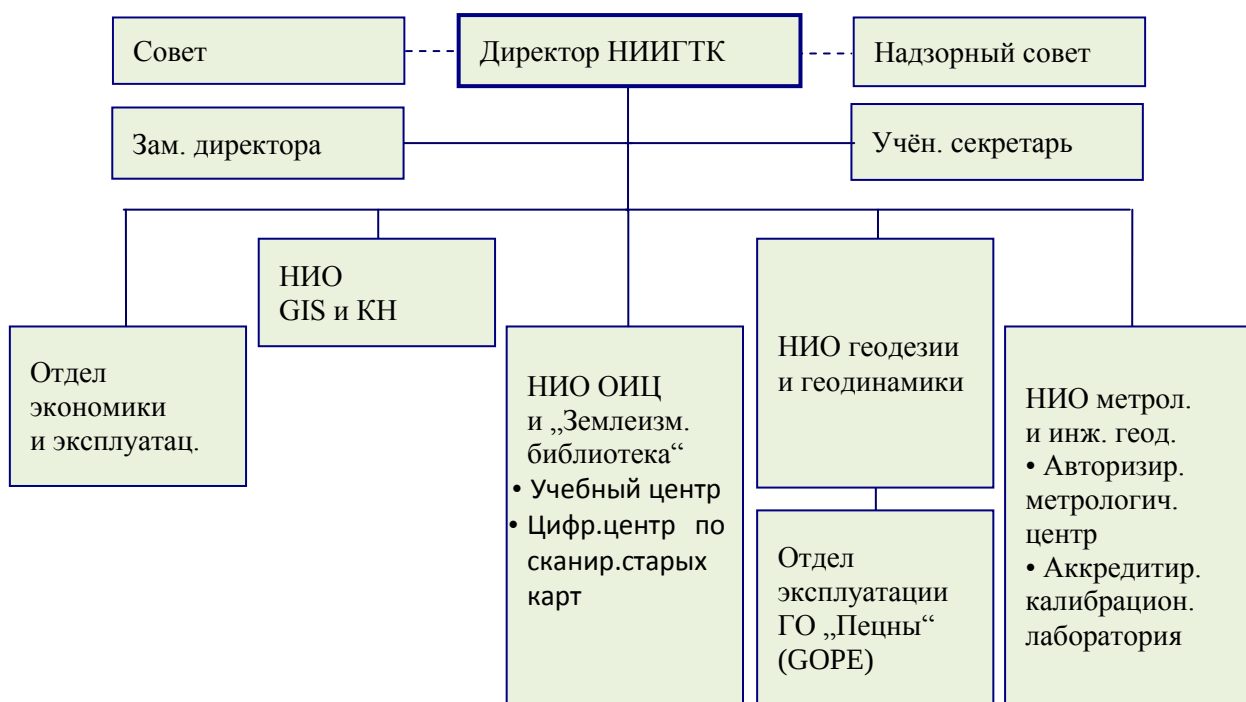


Рис. 1. Организационная структура НИИГТК

Организационная структура НИИГТК и его подразделений показана на рис. 1. Отметим только, что в состав Научно-исследовательского отдела (НИО) геодезии и геодинамики входит Геодезическая обсерватория (ГО) Пецны, в НИО метрологии и инженерной геодезии - Авторизованный метрологический центр и Аккредитированная калибрационная лаборатория, а в НИО ОИЦ и *„Землеизмерительная библиотека“*, которая является крупнейшей в ЧР библиотекой геодезии, картографии и КН (осн. в 1954 г.; включена в государственный перечень библиотек Министерством культуры ЧР под № 2599/2002, в книжном фонде которой имеется около 45 000 единиц хранения на 30-ти языках, в т.ч. на русском языке, изданных в 1660-2012 гг.), Учебный центр

и Цифровой центр по сканированию старинных картографических произведений и публикаций.

При НИИГТК также работает Терминологическая комиссия ЧЗКУ.

С 1955 г. НИИГТК издает реферативный журнал „Novinky zeměměřické knihovny“ („Новинки землеизмерительной библиотеки“), монографии, сборники конференций, годовой отчет и CD-ROM. Все эти публикации, кроме CD-ROM, выставляются на веб-страницах института, которые ведутся с 1997 г. Что касается реферативного журнала „Novinky zeměměřické knihovny“, то он сначала выходил под названием „Literární hlídka“ („Литературный патруль“), где публиковались аннотации отечественных и иностранных геодезических книг и статей, в т.ч. из СССР. Журнал получали также научные учреждения за рубежом. Одновременно с ним в 1971 г. начал издаваться журнал „Přehled informací“ („Информационное обозрение“), где публиковались только сокращенные переводы иностранных статей. Наконец, в 1987 г. эти журналы были объединены в один под общим названием „Přehled informací“, при этом к разделам „Аннотации“ и „Переводы“ был добавлен раздел „Новые поступления“. С 1998 г. журнал выходит под названием „Novinky zeměměřické knihovny“ [3]. В прошлом НИГТКИ также издавал журнал „Zprávy a pozorování Geodetické observatoře Pecný“ („Сообщения и наблюдения Геодезической обсерватории Пецны“, выходил в 1966, 1979-1990 гг.). С 2002 г. НИГТКИ обслуживает веб-страницы Координационного комитета европейских геодезистов („The Council of European Geodetic Surveyors“ – CLGE; URL: <http://www.clge.eu/>) [4].

Сотрудники института также работают в высших учебных заведениях Чехии и представляют интересы отрасли в ряде международных организаций, например, в рабочей группе по качеству объединения европейских картографо-геодезических служб „EuroGeographics“, Международном геодезическом и геофизическом союзе - МГГС („International Union of Geodesy and Geophysics“ - IUGG), XXV-тая генеральная ассамблея которого состоится в 2015 г. в Праге, Федерации франкоговорящих (франкофонных) геодезистов („Fédération des Géomètres Francophones“ - FGF), Координационном комитете европейских геодезистов („The Council of European Geodetic Surveyors“ – CLGE) и т. д.

Выполнение задач, стоящих перед институтом обеспечивают 60 сотрудников (см. Табл. 1).

НИИГТК финансируется Советом правительства ЧР по исследованиям, разработкам и инновациям на основе достигнутых результатов в научных исследованиях, а также на основе проектов, которые институт выиграет в результате открытых конкурсов, проводимых Грантовым агентством ЧР (фундаментальные исследования) и Технологическим агентством ЧР (прикладные исследования). Из государственного бюджета институт не финансируется.

Для более детального ознакомления с деятельностью НИИГТК целесообразно просмотреть его веб-страницы на URL: <http://www.vugtk.cz/> [1].

Таблица 1

Состав сотрудников по образованию и квалификации (по состоянию на 31. 12. 2011 г.)	
• сотрудники с высшим образованием (бакалавр, инженер, магистр)	42
в т.ч.:	
▪ научные сотрудники	19
- с научным званием д.ф.-м.н. или д.т.н. (DrSc.)	3
- с научно-педагогическим званием профессор	3
- с научным званием к.ф.-м.н., к.т.н. (CSc.) или д-р (Dr., Ph.D.)	16
▪ докторанты	6
• сотрудники со средним специальным, средним и начальным образованием	18
Всего	60

2. Научно-исследовательские работы последних лет

2.1. НИО «Географические информационные системы и кадастр недвижимости»

Выполняет исследования и разработки в области ГИС, геодезии, картографии и КН, решает задачи по поддержке исследований и разработок в смежных областях, проводит хозяйственную и коммерческую деятельность.

Разработки отдела:

- Программная система «DIKAT» для создания и ведения информационной системы (ИС) о территориях, применяемая напр. для создания ИС на основе результатов комплексного землеустройства и для автоматизированного составления топографических (геометрических) планов;
- ИС для локализации недвижимых культурных памятников для Министерства культуры ЧР;
- ИС для кризисного менеджмента при наводнениях для Интегральной спасательной системы ЧР;
- Технология оценивания качества геоданных при измерении высотных объектов для Управления полётами воздушных судов ЧР;
- Технология и веб-аппликация для составления топографического плана в среде Интернета. За разработку этой технологии институт был награждён престижной государственной премией ЧР „Industrie“ в конкурсе „Чешская голова 2007“ („Česká hlava 2007“).

2.2. НИО Отраслевой информационный центр и «Землеизмерительная библиотека[®]»

НИО ОИЦ и «Землеизмерительная библиотека[®]» обеспечивают выполнение следующих видов работ:

- Комплектование фонда (поиск и приобретение литературы, сбор отраслевой информации, подписка на периодические издания, получение доступа к электронным версиям журналов и т.п.);
- Библиографическая и информационная обработка полученной (приобретенной) литературы и снабжение ее аннотациями;

- Службы для отрасли и общественности: архивация сведений и документов отрасли, обеспечение процесса выдачи-возврата литературы;
- Служба интегрированной виртуальной «Землеизмерительной библиотеки®» для удаленных читателей;
- Доступ к каталогу библиотеки, насчитывающей 110 000 записей, и цифровой базе данных геодезических журналов на Интернетe (применяемая библиотечная система TinWeb общается с читателем на девяти языках, в т.ч. на русском) [2];
- Издание реферативного журнала «*Novinky Zeměměřické knihovny*» («Новинки Землеизмерительной библиотеки») [3];
- Ведение Учебного центра (проведение семинаров и курсов по аккредитованным учебным программам НИИГТК);
- Эксплуатация Цифрового центра по сканированию старинных картографических произведений и публикаций (основан в 2007 г.);
- Информационное обеспечение отдела и сайта института.

2.3. НИО геодезии и геодинамики

Выполняет постоянные фундаментальные исследования в областях:

- Научные аспекты определения местоположения методом GNSS;
- Описание гравитационного поля Земли и математические методы физической геодезии;
- Изучение динамики орбит ИСЗ;
- Изучение гравитационного поля методами космической (спутниковой) геодезии;
- Исследование периодических временных вариаций гравитационного поля Земли;
- Исследование вертикальных движений земной коры;
- Решает актуальные задачи отрасли в области построения и модернизации геодезических сетей ЧР и их интеграции с геодезическими сетями Европы, напр. мониторинг стабильности координатной системы и стабильности GNSS станций, вычисление модели квазигеоида (CR-2005), модернизацию координатной системы Единой тригонометрической кадастровой сети (S-JTSK);
- Ведет подготовку к введению Всемирной системы высот (WHS).

2.3.1. Геодезическая обсерватория Пецны

Геодезическая обсерватория Пецны, основанная в 1957 г., является геодезической базой для астрометрических, гравиметрических и GNSS наблюдений в Чешской Республике. На ее территории расположена постоянная референцная станция GNSS, станция европейской референцной сети EUREF, сравнительный астрономический пункт AGS, абсолютный гравиметрический пункт, фундаментальный высотный репер и сейсмограф.

В обсерватории выполняются следующие основные работы:

- Наблюдения на станции GNSS (начаты в сентябре 1993 г.). В 1995 г. станция включена в состав глобальной службы IGS (International GNSS Service);
- Обеспечение эксплуатации 4-х внешних станций сети CZEPOS и передачи от них данных;
- Мониторинг стабильности всех обслуживаемых станций GNSS;
- Эксплуатация регионального аналитического центра данных (RDC) IGS (вычисление координат станций, точных эфемерид орбит ИСЗ, поправок часов GPS и станций слежения, параметров вращения Земли и т.п.) и передача полученных результатов в международный центр данных;
- Измерения приливно-отливных возмущений гравитационного поля выполняются с 1970 г. (обработка наблюдений, передача результатов в Международный центр по земным приливам в Брюсселе. Для этих целей обсерватория оснащена абсолютными и сверхпроводящими гравиметрами).

2.4. НИО метрологии, стандартизации и инженерной геодезии

Выполняет исследования и разработки в следующих областях:

- Метрология (обеспечение юридических и технических предпосылок деятельности Аккредитованной калибровочной лаборатории и Авторизированного метрологического центра НИИГТК; Эксплуатация государственных и отраслевых эталонов длин, углов, силы тяжести, положения (GNSS) и приборов лазерного сканирования и т.п.);
- Стандартизация и техническая нормализация (разработка и актуализация отраслевых стандартов, норм и указаний в рамках технических нормализационных комиссий № 24 и № 122; создание новых терминов в рамках терминологической комиссии ЧЗКУ и составление на сайте многоязычного Терминологического словаря геодезии, картографии и кадастра недвижимостей, имеющего к 31.12.2011 г. около 4000 терминов, и т.п.);
- Рецензирование, консультирование и образовательная деятельность в области инженерной геодезии, метрологии и стандартизации;
- Специальные инженерно-геодезические работы по заказам ведомств и организаций (наблюдения за осадками сооружений, измерения скоростей движения транспорта на отсеках дорог, лазерное сканирование, контроль качества пены пива и т.п.);
- Разработка и производство специальных инженерно-геодезических приборов (напр. датчики HYNi для гидростатического нивелирования и т.п.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický [Электронный ресурс]. – Чеш. – Режим доступа: <http://www.vugtk.cz/>
2. Katalog Zeměměřické knihovny ODIS VÚGTK [Электронный ресурс]. – Чеш., англ., рус. и др. – Режим доступа: <http://www.vugtk.cz/~tinweb/index.shtml>
3. Novinky Zeměměřické knihovny (реферативный журнал) [Электронный ресурс]. – Чеш. – Режим доступа: <http://www.vugtk.cz/nzk/indnzk.html>

4. Радей К., Коцаб М., Дрбал А. Землеизмерительная и кадастровая служба Чешской Республики. – Издание первое. - Здибы: Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии, 2010. – 27 с.
5. Rejstřík veřejných výzkumných institucí / Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky [Электронный ресурс]. – Чеш. - Режим доступа: <http://rvvi.msmt.cz/detail.php?ic=00025615>

© К. Радей, 2012

БАЗА ГЕОДАНЫХ ДЛЯ БАСЕЙНА РЕКИ ТУУЛ

Удвалцэцэг Гэндаваа

Институт геоэкологии МАН, Барун Селбе 15, Улан-Батор 211238, Монголия, PhD, доцент, тел: +976-11- 321862, e-mail: gendvaa_u@yahoo.com

Хулан Борчулуун

Монгольский сельскохозяйственный университет, Агробиологический институт, Зайсан 53, МСУ, 210153 Улан-Батор, преподаватель, магистр, тел: 976-11-34-19-18, fax: 976-11-34-24-10, e-mail: hulan1986@yahoo.com

Река Туул является крупнейшей в Монголии, которая берет начало с Хребта Хан Хэнтий, течёт через город Улан-Батор и впадает в реку Орхон, являющейся самым крупным притоком бассейна р. Селенга.

В последнее время экосистема бассейна реки Туул притягивает большое внимание монгольских и иностранных исследователей. Мы впервые разработали геоинформационные базы данных с помощью ГИС технологии. За основу взяли топографическую карту, которая считается самым надежным источником информации. Геоинформационная база данных является основным материалом для пространственных и временных исследований данного бассейна реки.

Ключевые слова: топографическая карта, ГИС, пространство, векторные данные и атрибутивная информация.

GEODATA BASE FOR THE TUUL RIVER BASIN

Udvaltsetseg Gendavaa

Institute of Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Baruun Selbe 15, Ulaanbaatar 211238, Mongolia, Assoc. Prof, PhD, tel: +976-11- 321862, e-mail: udvaltsetseg@ecology.mas.ac.mn

Khulan Borchuluun

Mongolian State University of Agriculture, School of Agrobiology, Zaisan 53, MSUA, 210153 Ulaanbaatar, lecturer, tel: 976-11-34-19-18, fax: 976-11-34-24-10, e-mail: hulan1986@yahoo.com

The Tuul river is one of the biggest rivers in Mongolia and it originates from Khan Khentii wilderness and runs through the Ulaanbaatar city to flow in the Orkhon River, which is the biggest tributary of the Selenga River basin.

Domestic and International scientists are concerning the ecosystem of the Tuul River basin have become highly vulnerable to climate change impact. We have developed Geo database at the first time in Mongolia by digitizing the topographic map at a scale of 1:100000, using Arc view software. The database will further become the base information for any research work relevance to make spatial-time analyzes within the river basin.

Key words: topographic map, Geo-information system, space, vector data and attribute information.

INTRODUCTION

Creation of computer and high technology made the bigger step forward to the development of science such as appropriate and organized way of collecting massive size of information on nature and efficient use of such information in place. Moreover, a possibility of making spatial-time analysis and quality assessment on the information and ways to create a new information and data on the software have been facilitating scientists to enhance their work efficiency in the development and creation of science. The organized and collated data and information help decision makers to make appropriate solution in regard with the governing the country.

Nowadays, there have been much software and systems for various purposes of research and study that are based on computerized technologies with high capacity and the biggest example of are the Geo-information system [1].

Geo-information system is the complex of computer, software and geographical data that captures, stores, analyzes, manages, and presents data that is linked to location [2].

Geo-information system is the most appropriate method for analyzing spatial information of all objects the nature [3].

The main key for effective use of geo-information data is high qualitative technology, system and software. The other one is to have well organized and logically orderliness and standardized sources of information which also have to be accurate and realistic.

Institute of Geoecology of MAS has been carrying out the basic research work called “Modeling the integrated water management of the Tuul River and ecological study of the area”. Within the framework of the research work, we have developing complete vector data associated attribute information by digitizing main elements of topographic maps. As a result, the geo-information database for the Tuul River has been done by using ARCVIEW software.

Reference information

The basic geo reference materials for this research work will be the 1:100 000 scale 65 topographic maps developed in between 1980-1986. The maps were developed based on aerial photographs which were taken in between 1942-1945, using stereo-photogram method.

There are not any inventions were done for the Tuul River basin except for once that the Tuul River basin mapping was part of the “national scheme for utilization and protection of integrated water resources in the Selenga River basin”, developed by Institute of Water Survey and Research /old name/ in 1984. The scale of mapping in the scheme is 1:1 500 000 - 1:3 000 000.

In the past few years, scientist of the Institute of Geoecology of MAS have developed different series of electronic maps on geomorphology, land shaft and soil with medium scales.

Methodology

Methodological technology scheme for processing geo-information database for the Tuul River basin is shown in Fig. 1.

It was decided that the projected coordinate system ‘Universal Transverse Mercator ‘(UTM) and geographic coordinate system ‘World Geodetic System 84’ (WGS 84) should be used for georeferencing the maps and displaying subsequent vector data. This coordinate system was approved by the Mongolian Government regulation 25 on the 28th January 2009.

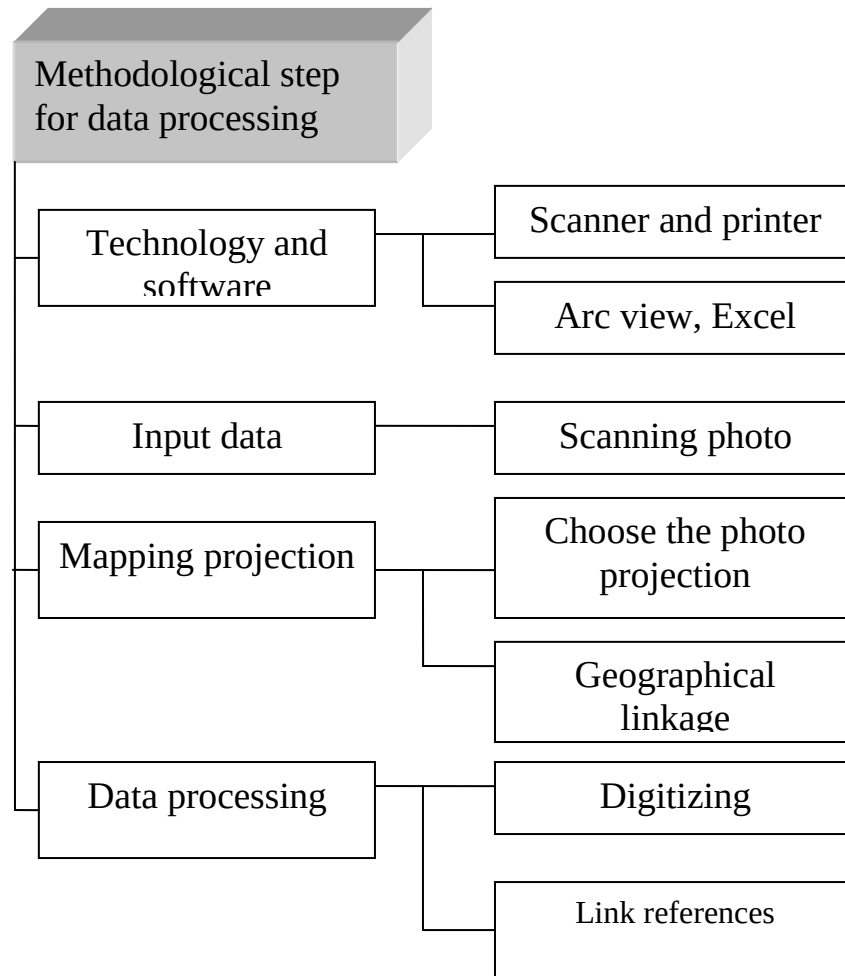


Figure 1. Methodological technology scheme for processing geo-information database

The Tuul River basin georeferencing was done using GPS-derived target points, to give an accurate representation in the WGS 84 geographic coordinate system. The original topographic maps were published in the Krasovsky 1940 geographic coordinate system.

Results

The most common method for illustrating spatial data by graph is the map and it shows the object by point, line and area [4].

Table 1 show that which element of spatial base shall be chosen for digitizing main elements of the map into the vector data. By using this sample, the spatial base of main elements will be created.

Table1. Sample for digitizing elements of main map into vector data

Structure of sample	Base data	Type of spatial base		
		I	II	III
1	2	3	4	5
1.Digital map-base map 1.1.Relief /Digital sample of altitude/ 1.2.Urban area /status of administration and number of population/ 1.3.Road network /by type of road/ 1.4.Administration and territory distribution /various type of boundaries/	1:100000 scale topographic map will be used	*	*	*
2.Data relevant to water object 2.1.River /with permanent and temporary flow/ 2.2. Lake /volatile and perennial, salty and unsalted/ 2.3. Springs 2.4.Well 2.5.Saline, salt-marsh and sludge	Location map will be used	*	*	*

Note: I- point, II-line, III-area

Sample for created attribute data base of topographic map elements

For the Tuul River Basin all features have been digitized and all attribute information completed. For instance:

All objects which are illustrated by points have been added to the database such are data of altitude and all socio-economic related data such as number of population, wells, springs and other objects and their lation in urban area /Fig.2/.

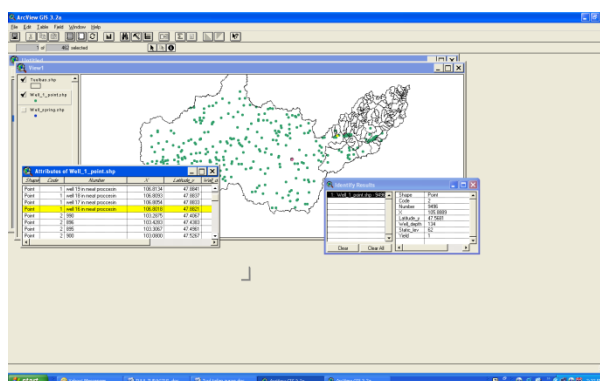


Figure 2. Database for water points in the Tuul River basin

All objects which are illustrated by lines have been added to the database such are length of the objects and other related necessary information /Fig. 3/.

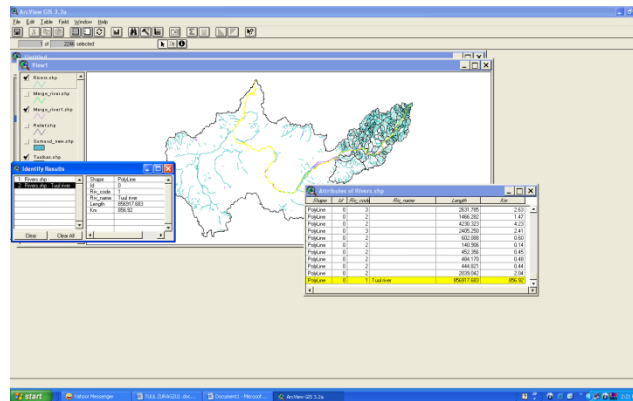


Figure 3. A database for rivers in the Tuul River basin

All objects which are illustrated by area have been added to the database such are sub-data related to squire and distribution of the objects /Fig. 4/.

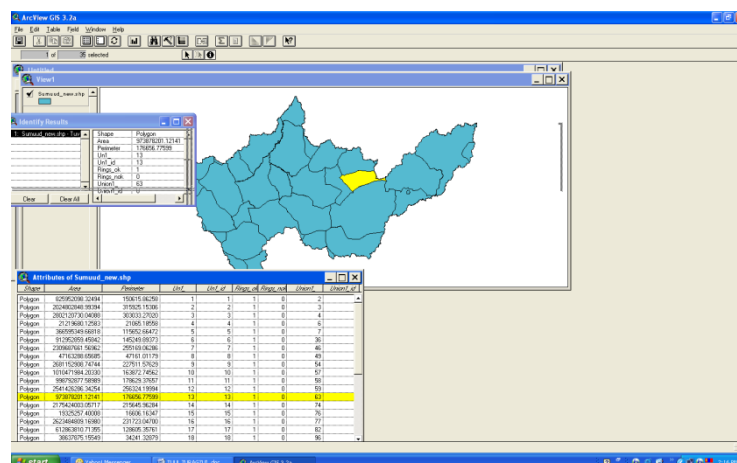


Figure 4. Database for administration unit in the Tuul River basin

The following data will be used for sub-database for geo-information database as:

Rivers - their name, length /this data will be created as polygon/ and other necessary information have been added in the sub-data base. For the rivers, data related to rivers` width, run-off, chemical characteristics, name of province /aimag/ and sub-province /soum/ where the rivers pass through can be added.

Lakes - their name, squire and perimeter /those data will be created as polygon/ and other necessary information have been added in the sub-data base. For the lakes, the data related to lakes` width, chemical characteristics, name of province and sub-province where the lakes are located can be added:

Relief - horizontal and altitude points

Name - center of province /aimag/ and sub-province /soum/

Boundary - squire of aimags and soums.

Using above mentioned geo database, we have developed physical geography map as electronic type /Fig. 5/.

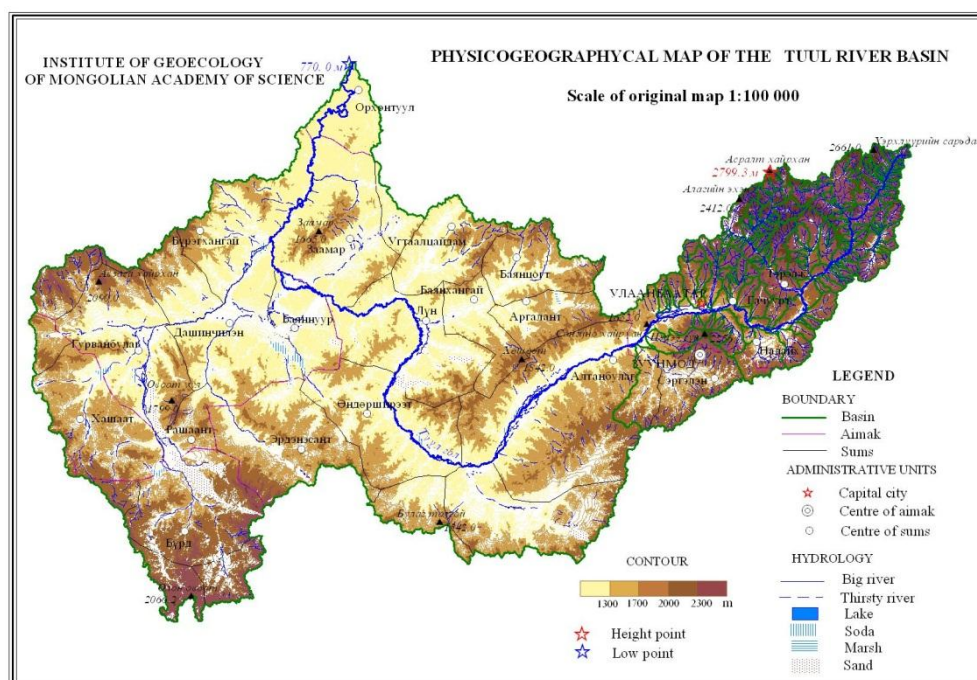


Figure 5. Physicogeographycal map of the Tuul River basin

Conclusion

The developed geo-information database for the Tuul River by digitizing a topographic map at a scale of 1:100000 using Arc-view software is very important and significant for further cartography work.

Since the ecosystem of the Tuul River basin have become highly vulnerable to climate change impact and it has been concerned by domestic and International scientists, the geo-information database developed by us will be used as a base reference for further spatial and time analysis and qualitative and quantitative assessment on space and time.

References

1. Amarsaikhan. D. "Geo-information system and modeling spatial features". "Erdem" newspaper, printed by MAS, N:04/58/. UB. 2002. Page 4-6.
2. Amarsaikhan. D. "Principles for using geo-information database system in nature resources management" UB. 2007
3. N.B, Konavalova. E.G. Capralov. "Introduction into GIS". Petrazavodsk.1995. Page 32
4. Udvaltsetseg. G. "Developing necessary geo-information database for water resources mapping". "Aspects of Mongolian Geoecology" N: 3. Institute of Geoecology of MAS. UB. 2000. Page 102-112

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Алексей Александрович Бучнев

Институт Вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, 6, старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

Валерий Павлович Пяткин

Институт Вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, 6, заведующий лабораторией обработки изображений, тел. (383)333-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с адекватным дешифрированием (классификацией) данных дистанционного зондирования Земли. Обсуждаются проблема смешанных векторов признаков и один из способов ее решения – нечеткая классификация. Анализируются алгоритмы контролируемой классификации и кластерного анализа.

Ключевые слова: контролируемая классификация, класс, кластер, кластерный анализ, жесткая классификация, нечеткая кластеризация, алгоритм *K*-средних, алгоритм *C*-средних.

SOME PROBLEMS OF THE EARTH REMOTE SENSING DATA THEMATIC PROCESSING

Aleksey A. Buchnev

Institute of the Computational mathematics and mathematical geophysics (ICM&MG) SB RAS, Novosibirsk 630090, acad. Lavrent'ev av., 6, lab of the images processing senior researcher, tel. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

Valeriy P. Pyatkin

Institute of the Computational mathematics and mathematical geophysics (ICM&MG) SB RAS, Novosibirsk 630090, acad. Lavrent'ev av., 6, lab of the images processing head, tel. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

The questions, deals with Earth remote sensing data adequate recognition (classification), are discussed in this paper. The problem of the mixed vectors of features and one method of it solution – fuzzy classification – are discussed also. Supervised classification algorithms and clustering algorithms are analysed.

Key words: supervised classification, class, cluster, cluster analyses, hard classification, fuzzy clustering, *K*-means algorithms, *C*-means algorithms.

Центральные вопросы тематической обработки (интерпретации) данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) – вопросы повышения качества дешифрирования – непосредственно связаны с проблемой выбора адекватных алгоритмов распознавания. Возникающие при этом трудности обусловлены следующими причинами [1]:

1. Структура реальных данных не соответствует модели данных, используемой в алгоритме. Например, невыполнение предположения о нормальном распределении векторов данных или невыполнение условия, что поле измерений является случайным. Опыт показывает, что такие ситуации возникают тогда, когда излучение от сканируемого объекта выходит за пределы динамического диапазона съемочной аппаратуры. В этих случаях приходится либо вообще отказываться от методов, требующих обращения ковариационных матриц, либо прибегать к приемам, повышающим дисперсию данных.

2. Непрезентативность обучающих последовательностей – недостаточное количество данных для восстановления параметров решающего правила.

3. Несоответствие обучающих данных и данных, предъявляемых на распознавание (“загрязнение” выборок смешанными векторами измерений, т.е. векторами, которые образуются при попадании в элемент разрешения съемочной системы нескольких природных объектов).

4. Неточное соответствие обучающих данных, получаемых с помощью кластеризации, истинным тематическим классам.

5. Помехи аппаратуры, влияние атмосферных условий и т.п.

Таким образом, можно сказать, что современный опыт автоматизированного распознавания ДДЗЗ показывает: заранее практически невозможно установить, какой алгоритм будет лучше с точки зрения точности классификации. Поэтому в распознающую систему целесообразно закладывать несколько алгоритмов и выбор оптимального алгоритма проводить эмпирически.

Наличие смешанных векторов в ДДЗЗ является, вероятно, одним из наиболее серьезных источников ошибок при построении тематической карты классификации [1-3]. Понятие тематической карты предполагает, что каждый участок земной поверхности можно пометить как принадлежащий к одному и только одному классу поверхности. В действительности же (см., например, Шовенгердт [3]) дистанционное зондирование реализует функцию получения векторов измерений с 2^{KN} возможных значений для K уровней дискретизации и N спектральных полос. Когда это пространство измерений сжимается с помощью классификации до нескольких классов, мы пренебрегаем большим количеством информации для того, чтобы получить упрощенную тематическую карту.

В свою очередь Чандра и Гош [2] отмечают, что поскольку разрешение первых съемочных систем было невысоким, считалось, что проблема смешанных векторов исчезнет с увеличением разрешения. Однако оказалось, что это не так. При низком разрешении высокая вероятность вкладов от объектов разных классов в один и тот же смешанный вектор сочетается с относительно небольшим их количеством. При увеличении разрешения количество классов, представленных в каждом векторе, уменьшается, но увеличивается число самих смешанных векторов. Таким образом, смешанные векторы всегда являются источником ошибок при классификации ДДЗЗ.

Большинство алгоритмов классификации для отнесения векторов признаков классам вычисляют для каждого вектора значения подходящей функции «правдоподобия». В случае зачисления вектора признаков в класс по максимальному значению функции правдоподобия получается так называемая *жесткая* кластеризация. Разделяющие границы в пространстве признаков для полученных при жесткой классификации классов являются четко определенными. Если же величины правдоподобия используются так, что допускается возможность существования множественных классов для каждого вектора, то получается *мягкая* или *нечеткая* классификация. Величины правдоподобия представляют в этом случае относительные пропорции каждого класса в пределах многоспектрального вектора признаков [3].

В классификации ДДЗЗ чаще других используются методы, которые можно разбить на две группы: *классификация с обучением* (контролируемая классификация) и *кластерный анализ* (автоматическая классификация).

В классификации с обучением для распределения векторов признаков по представляющим интерес классам используется процесс обучения классификатора способности различать эти классы на основе репрезентативных выборок представителей классов. Эти выборки называются обучающими. Процесс обучения фактически является процессом построения функций правдоподобия (или *решающих функций*) для классов. Эти функции будут затем использоваться для классификации каждого вектора признаков как принадлежащему только одному классу (жесткая классификация) либо нескольким классам (нечеткая классификация). Обучение классификатора может быть *проконтролировано* путем определения вероятности правильной классификации (для этого часть из обучающих выборок переводится в разряд контрольных).

Один из распространенных алгоритмов классификации с обучением основан на использовании байесовской стратегии максимального правдоподобия для нормально распределенных векторов признаков.

Пусть x – N -мерный вектор признаков $x = (x_1, \dots, x_N)^T$, где N – число спектральных диапазонов. Предполагается, что векторы x имеют в классе ω_i нормальное распределение $N(m_i, B_i)$ со средним m_i и ковариационной матрицей B_i . В этом случае байесовская стратегия максимального правдоподобия для поэлементного классификатора формулируется следующим образом [4].

Пусть $\Omega = (\omega_1, \dots, \omega_m)$ – конечное множество классов, $p(\omega_i)$ – априорная вероятность класса ω_i . Тогда решающая функция класса ω_i имеет вид

$$g_i(x) = \ln(p(\omega_i)) - 0.5 \ln(|B_i|) - 0.5(x - m_i)^T B_i^{-1}(x - m_i). \quad (1)$$

Классическое решающее правило для жесткой классификации принимает следующий вид: вектор x заносится в класс ω_i , если $g_i(x) > g_j(x)$ для всех $j \neq i$.

Поскольку физические размеры реально сканируемых пространственных объектов, как правило, больше разрешения съемочных систем, между векторами признаков существуют взаимосвязи [1]. Использование информации

подобного рода дает возможность повысить точность классификации, если пытаться распознавать одновременно блок смежных векторов квадратной или крестообразной формы. Будем называть такой блок векторов объектом. Рассмотрим объект $X = (x_1, \dots, x_L)^T$, состоящий из смежных N -мерных векторов $x_i, i=1, \dots, L$ (например, в окрестности $3 \times 3, 5 \times 5, \dots$ элементов). Решение об отнесении центрального элемента объекта тому или иному классу принимается на основе результата классификации всего объекта.

Такой подход порождает целое семейство решающих правил. Во-первых, это использование принципа голосования, т.е. независимая классификация элементов объекта и отнесение центрального элемента к тому классу, которому было отнесено большинство элементов объекта. Во-вторых, это применение текстурных операторов (простейший пример – описание объекта X через вектор средних составляющих его элементов) с последующим отнесением центрального элемента классу, к которому был отнесен параметр, характеризующий X . В-третьих, описание объекта X случайным марковским полем, т.е. $p(X | \omega_i) = p(x_1 | x_2, \dots, x_L; \omega_i) p(x_2 | x_3, \dots, x_L; \omega_i) \dots p(x_L | \omega_i)$. В этом случае модель выглядит следующим образом. Пусть вектор x имеет в классе ω_i нормальное распределение $N(m_i, B_i)$ со средним m_i и ковариационной матрицей B_i . Тогда вектор X также нормально распределен в классе ω_i со средним M_i размерности NL и ковариационной матрицей K_i размерности $NL \times NL$. Оценка этой матрицы при больших значениях NL (требуется очень большое количество обучающих данных), а также ее обращение на практике трудно реализуемо. Поэтому вводятся упрощающие структурные предположения. Если считать, что корреляция между элементами объекта во всех зонах съемки одинакова, то ковариационную матрицу K_i можно представить в виде прямого произведения матрицы пространственной корреляции R_i на ковариационную матрицу B_i .

Если R_i является единичной, то $p(X | \omega_i) = \prod_{l=1}^L p(x_l | \omega_i)$ и мы имеем известное решающее правило при предположении, что элементы объекта независимы. Более адекватные модели возникают при других предположениях о структуре корреляционных связей. Например, вводя допущение о разделимости автокорреляционной функции элементов объекта по вертикали и горизонтали, получаем каузальную авторегрессионную модель первого либо третьего порядка (в зависимости от формы объекта).

Необходимые для построения решающих функций классов оценки статистических характеристик – векторов средних и ковариационных матриц, коэффициентов пространственной корреляции между значениями координат соседних векторов в горизонтальном и вертикальном направлениях – определяются на основе векторов из обучающих выборок (полей).

Характеризуя методы кластеризации в целом, следует отметить, что в основном они отыскивают в данных не те структуры, которые там реально существуют, а те, для поиска которых они предназначены [1]. Jain [5] отмечает, что кластеризация имеет длительную и богатую историю, но на сегодняшний

день не существует универсального алгоритма, применимого в различных областях приложений.

Целью кластеризации, называемой также *неконтролируемой* классификацией, является разделение конечного набора объектов на конечное и дискретное семейство скрытых, “естественных” структур. Как отмечается в [6], в кластерном анализе группа объектов расщепляется на некоторое число более или менее однородных подгрупп на основе часто субъективно выбранной меры схожести (т.е., выбираемой субъективно, основываясь на её возможности создания “интересных” кластеров) таким образом, что схожесть между объектами внутри подгруппы больше, чем схожесть между объектами, принадлежащими разным подгруппам.

Алгоритмы кластеризации делят данные на некоторое число кластеров. Большинство исследователей описывают кластер оценкой внутренней однородности и внешней разделимости, т.е. объекты в одном кластере должны быть похожи друг на друга, в то время как объекты в разных кластерах нет.

Пусть задан набор векторов $X = \{x_1, \dots, x_j, \dots, x_L\}$, где $x_j = (x_{j1}, \dots, x_{jN}) \in R^N$ и каждая компонента x_{ji} называется признаком. Жесткая (hard) разделяющая кластеризация пытается найти K частей X , $C = \{C_1, \dots, C_K\}$ ($K \leq L$), таких, что

1. $C_i \neq \phi, i=1, \dots, K$;
2. $\bigcup_{i=1}^K C_i = X$;
3. $C_i \cap C_j = \phi, i, j=1, \dots, K$ и $i \neq j$.

Иерархическая кластеризация пытается построить древовидную вложенную структуру разбиений X , $H = \{H_1, \dots, H_Q\}$ ($Q \leq N$), такую, что $C_i \in H_m, C_j \in H_l$ и $m > l \Rightarrow C_i \in C_j$ или $C_i \cap C_j = \phi$ для всех $i, j \neq i, m, l=1, \dots, Q$.

Одним из важных факторов разделяющей кластеризации является критерий кластеризации. Наиболее широко используется критерий минимизации суммы квадратов ошибок. Этот критерий формулируется следующим образом:

$$E = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L \gamma_{ij} \rho^2(x_j - m_i), \quad (2)$$

где $\gamma_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_j \in i\text{-ому кластеру} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$, $\rho(x, y)$ – расстояние между векторами x и y , m_i – прототип i -го кластера.

Наиболее известным алгоритмом жесткой кластеризации, доставляющим локальный минимум функции ошибок (2), является алгоритм K -средних [7,8]. Широкому распространению этого алгоритма способствует его простота. На его основе разработаны многочисленные модификации [5], в частности, алгоритм, известный под названием *ISODATA*, который динамически меняет число кластеров за счет их объединения либо расщепления согласно значениям предопределенных порогов. Многие авторы (см., например, [9]) справедливо полагают, что использование таких порогов является дополнительным

источником субъективизма (наряду со значением K) в построении кластерного разбиения.

Алгоритм K -средних может быть отнесен к классу параметрических, т.к. он неявным образом предполагает природу плотности вероятности: кластеры стремятся иметь конкретную геометрическую форму, зависящую от выбранной метрики [10]. Альтернативой является подход, основанный на предположении, что исходные данные являются выборкой из многомодового закона распределения, причем векторы, отвечающие отдельной моде, образуют кластер [11,12]. Таким образом, задача сводится к анализу мод многомерных гистограмм.

В жесткой разделяющей кластеризации каждый вектор принадлежит строго одному кластеру. Однако можно разрешить векторам принадлежать всем кластерам с коэффициентом членства $u_{ij} \in [0,1]$, определяющим степень принадлежности j -го вектора i -му кластеру:

$$\sum_{i=1}^C u_{ij} = 1, \forall j \text{ и } \sum_{j=1}^L u_{ij} < L, \forall i,$$

определяя этими соотношениями нечеткую кластеризацию. Здесь C – число кластеров.

В настоящее время широко используется алгоритм нечеткой кластеризации, известный как метод C -средних [13]. Это итерационный алгоритм, который используется для разделения смешанных векторов. Идея метода заключается в описании сходства вектора с каждым кластером с помощью функции уровней принадлежности, принимающей значения от нуля до единицы. Значения функции, близкие к единице, означают высокую степень сходства вектора с кластером. Очевидно, что сумма значений функции уровней принадлежности для каждого пиксела должна равняться единице. В результате задачу разбиения можно сформулировать как задачу минимизации функции:

$$E = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^C (u_{ij})^m \rho^2(x_i, m_j) \quad (3)$$

при следующих дополнительных ограничениях:

$$\sum_{j=1}^C u_{ij} = 1 \text{ для любого } i$$

$$\sum_{i=1}^L u_{ij} > 1 \text{ для любого } j$$

$$0 \leq u_{ij} \leq 1 \text{ для любых } i \text{ и } j.$$

Здесь x_i – i -ый вектор признаков, m_j – прототип (центр) j -го кластера; u_{ij} – коэффициенты, определяющие уровень принадлежности вектора тому или иному кластеру (элементы матрицы U размерности CL); C и L – количество кластеров и векторов соответственно; m – показатель степени, характеризующий степень нечеткости кластеризации ($1 \leq m < \infty$); $\rho^2(x_i, m_j)$ – квадрат расстояния d_{ij} между векторами x_i и m_j , определяемый следующим образом:

$$d_{ij}^2 = \rho^2(x_i, m_j) = (x_i - m_j)^T A (x_i - m_j), \quad (4)$$

где A — матрица весовых коэффициентов.

Параметрами функции E являются m и A . От показателя степени m зависит относительный вес каждого элемента d_{ij}^2 . Значение $m = 1$ соответствует четкой классификации, при $m \rightarrow \infty$ классификация становится полностью нечеткой. Каждому m соответствует отдельное решение при прочих фиксированных параметрах. На сегодняшний день не существует каких-либо теоретических или практических рекомендаций по выбору оптимального значения m . Для определения этого показателя можно использовать тестовые наборы данных. Bezdek [13] считает, что интервал полезных значений равен $[1, 30]$, а для большинства исследуемых данных значения m в пределах $1.5 \leq m \leq 3.0$ приводят к хорошему результату. Шовенгердт [3] предлагает брать значения m , близкие к двум. Еще одним важным параметром функции E является матрица весовых коэффициентов A , характеризующая форму кластеров и определяющая расстояние в формуле (3). В настоящее время в основном используются следующие матрицы [13]:

$$A = I - \text{евклидово расстояние}, \quad (5)$$

$$A = D^{-1} - \text{диагональное расстояние}, \quad (6)$$

$$A = C^{-1} - \text{расстояние Махаланобиса}, \quad (7)$$

где I — единичная матрица, а D — диагональная матрица, элементами которой являются собственные значения ковариационной матрицы C .

При выборе диагонального расстояния масштаб по координатным осям задается собственными значениями ковариационной матрицы. Евклидово расстояние позволяет использовать уже накопленный опыт работы с данными. После определения всех параметров запускается итерационная процедура для получения нечеткого S -разбиения, обеспечивая сходимость функции (3) к локальному минимуму [13]. При этом для переопределения центров кластеров используется следующее выражение:

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^L u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^L u_{ij}^m}$$

а элементы u_{ij} матрицы уровней принадлежности к кластерам $U^{(k)}$ на k -ом шаге процедуры определяются как

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^C \left(\frac{d_{ij}^2}{d_{ik}^2} \right)^{1/(m-1)}}.$$

Процедура завершает работу, когда $\|U^{(k)} - U^{(k-1)}\| < \varepsilon$, где ε — заданная точность вычислений. Полученные значения уровней принадлежности векторов

характеризуют доли различных кластеров, которые, в свою очередь, можно рассматривать как результаты нечеткой классификации данного вектора.

В ИВМиМГ СО РАН совместно с ГУ «НИЦ «Планета» Росгидромета РФ в течение ряда лет была создана система жесткой классификации ДДЗЗ. Система состоит из двух частей: классификации с обучением [14] и кластерного анализа [15].

Комплекс процедур классификации с обучением (контролируемой классификации) ДДЗЗ состоит из семи классификаторов (один поэлементный классификатор и шесть объектных), основанных на использовании байесовской стратегии максимального правдоподобия, и двух объектных классификаторов, основанных на минимуме расстояния. Под элементом мы подразумеваем вектор признаков, а понятие объекта определялось выше. Поэлементный классификатор фактически работает в соответствии с выражением для решающей функции (1). Объектные классификаторы, в зависимости от предположений о связях векторов внутри объекта, в качестве решающих функций используют различные обобщения выражения (1). Используются следующие предположения: векторы внутри блока независимы и составляют один вектор соответствующей размерности; векторы внутри блока независимы и классифицируется вектор, равный среднему по всем векторам объекта; классифицируется средний вектор блока в предположении, что векторы внутри блока независимы и ковариационные матрицы равны единичной; векторы внутри блока связаны моделью каузального марковского случайного поля первого или третьего порядка.

Кластерный анализ в системе классификации представлен двумя алгоритмами – методом K -средних и методом анализа мод многомерной гистограммы, а также гибридным методом, объединяющим метод анализа мод многомерной гистограммы с последующей иерархической группировкой.

Метод K -средних реализован в двух вариантах – Мак-Квина [7] и Ллойда [8]. В качестве мер расстояния, наряду с расстояниями (5) – (7), используются следующие метрики:

$$\rho(x, y) = \sum_{i=1}^N |x_i - y_i| - \text{Сити-блок расстояние} \quad (8)$$

$$\rho(x, y) = \max |x_i - y_i|, \quad i=1, \dots, N - \text{Чебышева расстояние.} \quad (9)$$

Учитывая чувствительность метода K -средних к заданию начальных центров кластеров, предлагается выбор одного из трех способов этого задания, два из которых основаны на использовании статистических характеристик исходного набора векторов признаков и один использует случайное распределение векторов по кластерам.

В последнее время система классификации дополнена реализацией алгоритма нечеткой кластеризации C -средних в соответствии с выражениями (3) – (7). В сравнении с результатами кластеризации по методу K -средних нечеткая кластеризация алгоритмом C -средних приводит к более равномерному распределению векторов признаков по кластерам. На рис. 1 приведены объемы

кластеров, полученные двумя методами при кластеризации одного и того же набора векторов признаков (выделялось 10 кластеров).

В заключение отметим, что разработанная система классификации в течение длительного времени с успехом используется при решении разнообразных задач космического мониторинга.

В перспективе предполагается включить в систему нечеткой классификации реализацию алгоритма С-средних с регуляризацией [2] и нечеткую контролируемую классификацию [3].

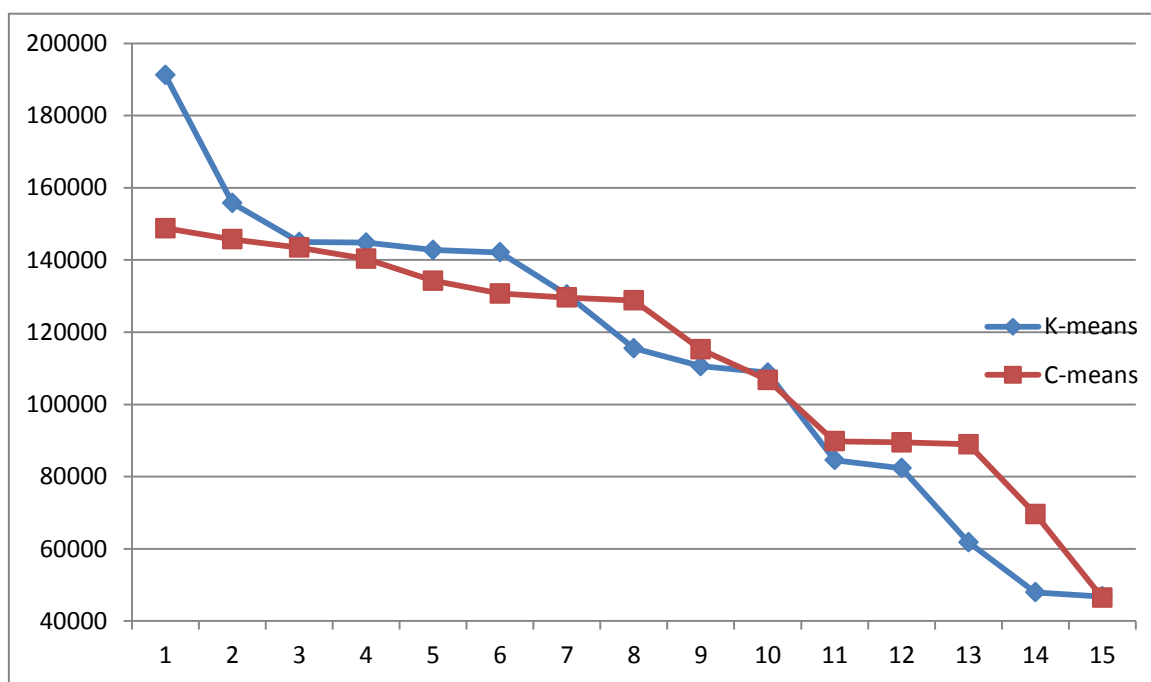


Рис. 1. Распределение векторов по кластерам

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асмус В.В. Программно-аппаратный комплекс обработки спутниковых данных и его применение для задач гидрометеорологии и мониторинга природной среды. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. На правах рукописи. Москва – 2002, -75 с.
2. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Пер. с англ. Москва: Техносфера, 2008.
3. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Пер. с англ. Москва: Техносфера, 2010.
4. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. – М., Мир, 1978, – 411 с.
5. Jain A.K. Data clustering: 50 years beyond K-means. Pattern Recognition Letters. 31 (2010), pp. 651-666.
6. Rui Xu, Donald Wunsh. Survey of Clustering Algorithms. IEEE Trans. On Neural Networks, v. 16, No. 3, May 2005, pp. 645 – 678.
7. MacQueen J.B. Some Methods for Classification and analysis of multivariate observations. Proc. of the 5-th Berkley Symposium on Mathematical Statistical and Probability, 1967, vol. 1, pp. 281-297.
8. Lloyd S.P. Least Squares Quantization in PCM. IEEE Trans. Information Theory, vol. 28, pp. 129-137, 1982.

9. М. Жамбю. Иерархический кластер-анализ и соответствия. Пер. с фр. М., Финансы и статистика, 1988.
10. Marques de Sa J.P. Pattern Recognition: Concepts, Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001, -318 p.
11. P.M. Narendra, Goldberg. A non-parametric clustering scheme for landsat. Pattern Recognition, vol. 9, 1977, pp. 207-215.
12. В.А. Красиков, В.А. Шамис. Кластерная процедура на базе многомерной гистограммы распределения. Исследование Земли из космоса, № 2, 1982, с. 107-114.
13. Bezdek J.C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Plenum Press, New York, 1981.
14. Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Контролируемая классификация данных дистанционного зондирования Земли. Автометрия, 2008, № 4.
15. Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Кластерный анализ данных дистанционного зондирования Земли. Автометрия, 2010, № 2.

© А.А. Бучнев, В.П. Пяткин, 2012

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СПРАВОЧНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГИС – НОВЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШИРОКОГО КРУГА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Дмитрий Витальевич Лисицкий

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики, тел. (383) 361-06-35, e-mail: dlis@ssga.ru

В докладе рассматриваются концепция и некоторые результаты разработки инструментальной справочно-аналитической ГИС (ИСА ГИС), выполняемой в Сибирской государственной геодезической академии по государственному контракту № 02.740.11.0735 в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям. Тема направлена на расширение сферы применения ГИС в среде пользователей, не имеющих специальной геоинформационной подготовки. Приводятся обоснование выявленной проблемы, пути достижения поставленных целей, основные методические и технологические решения.

Ключевые слова: геоинформационная система, справочно-аналитические функции, формализация технологических процессов, web-технология, облачная технология, инструментальная программная система, программный робот.

REFERENCE-ANALYTICAL GIS TOOL AS A NEW GEOINFORMATION INSTRUMENT FOR A WIDE RANGE OF USERS

Dmitry V. Lisitsky

Ph.D., Prof., head of cartography and GIS department, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo st., 630108, Novosibirsk, phone: (383) 361-06-35, e-mail: dlis@ssga.ru

The concept and some results of reference-analytical GIS tool development are considered. It is being implemented in Siberian State Academy of Geodesy by state contract # 02.740.11.0735 in the framework of the Federal target program “Research and educational personnel of innovation Russia” for 2009-2013 under the financial support of the Federal agency for science and innovations. The research is aimed at the expansion of GIS applications for users inexperienced in this field. The revealed problems, the ways for achieving the goals and basic methodical and technological decisions are substantiated.

Key words: GIS, reference and analytical functions, formalization of technological processes, web-technology, cloud-technology, software tool, program-controlled robot.

Геоинформационные системы являются сегодня основным инструментом для введения, анализа и представления пространственных данных во всех отраслях и во всех областях жизнедеятельности общества. Они непрерывно совершенствуются и развиваются, реализуются новые функциональные возможности, появляются новые сферы их применения. Однако при этом проявляется и усиливается противоречие, связанное с дальнейшим

распространением ГИС в среде широкого круга пользователей: с одной стороны, совершенствование ГИС должно способствовать расширению сферы их применения, а с другой стороны, неизбежное усложнение программно-технологического обеспечения ограничивает круг пользователей ГИС узкими профессионалами, что наоборот начинает сдерживать распространение этих систем.

Для сглаживания указанного противоречия и снижения степени его влияния на распространение ГИС среди широких кругов пользователей в Сибирской государственной геодезической академии (СГГА) ведется разработка инструментальной справочно-аналитической ГИС (ИСА ГИС), рассчитанной на использование различными потребителями, не имеющими профессиональной геоинформационной подготовки. Тема выполняется по государственному контракту № 02.740.11.0735 в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям.

Концепция достижения поставленной цели заключается в автоматизации формирования технологической цепочки типовых геоинформационных процедур в соответствии с поставленной пользователем геоинформационной задачей.

В общем случае, для работы с геопространственными данными и решения любой геоинформационной задачи необходимо использовать определенное программное обеспечение и осуществлять соответствующие технологические процессы. Выбор программно-технологического обеспечения определяется исходя из всего комплекса потенциальных ГИС-задач, а конкретные технологические процессы - из потребностей отдельных конечных пользователей. Следует учитывать тот факт, что в настоящее время практически любая геоинформационная система обладает свойством универсальности, т. е. рассчитана на работу со всеми пользователями, без учета их индивидуальных потребностей. Однако при этом сами пользователи должны обладать рядом специальных знаний о структуре используемой ГИС, основных методах её работы, а также для формирования пространственных запросов и технологии решения задач. Эти требования и ограничивают существенно распространение ГИС в разных сферах экономики и жизнедеятельности общества, т.к. большинство пользователей не имеют необходимого объема требуемых знаний в области ГИС-обработки.

Представим теперь любое взаимодействие пользователя, не имеющего навыков работы с ГИС, с системой геопространственных данных как работу с черным ящиком. Нужно лишь послать системе некий входной сигнал в виде запроса и получить отклик, ответ на запрос в виде обработанных числовых, текстовых, картографических и других данных. При этом сам пользователь может не знать, по каким алгоритмам был обработан его запрос, как осуществлялась передача информации, какие модули ГИС были задействованы, по каким каналам и так далее. Для реализации такого метода взаимодействия неподготовленного пользователя с ГИС необходимо разработать специальное

управляющее модельно-алгоритмическое и программное обеспечение для пользователя. Такое программное обеспечение может работать локально на компьютере пользователя, либо устанавливаться на специальном удаленном сервере. Оно базируется на индивидуальных особенностях конкретного пользователя, создавая его модель с точки зрения геоинформационных интересов. Во время работы пользователя происходит постоянная корректировка модели на основании новых поступающих данных и предыдущих запросах к ГИС. Таким образом, модель будет всегда отражать актуальные геоинформационные интересы пользователя.

Разрабатываемая ИСА ГИС является распределенной информационной системой, в которой отдельно выделена роль разработчика (а в процессе функционирования – системного администратора) и конечного пользователя продукта (сервиса). Разработчику (системному администратору), как правило, известно, на какой круг пользователей и решаемых задач ориентирована система. Также разработчик (системный администратор) создает информационное наполнение такой системы, так называемый контент, выбирает, в каком виде и как будет храниться информация, каким образом будут организованы переходы между информационными блоками. При этом основная задача - выбрать правильный способ организации информационного наполнения, способ хранения, способ взаимосвязи блоков информации, способ представления в каждый момент только необходимой конечному пользователю информации, обеспечивая тем самым удобство работы с системой для ее пользователей. Это достигается использованием модели конечного пользователя и предметной области, а также алгоритмом динамического изменения контента в зависимости от состояния системы, как совокупности состояний модели пользователя и модели предметной области.

В основу выполняемой НИР приняты несколько важных принципиальных положений:

- Геоинформационные процессы подвергаются предварительной формализации, разбиению на простые геоинформационные процедуры и типизации этих технологических процедур;
- Каждая процедура реализуется путем создания программного модуля, управляющего процессом обработки на базе стандартного программного обеспечения ГИС;
- Предлагаемый геосервис предоставляется в форме «облачной технологии» через сеть Интернет в категории **SaaS** (Software as a service – программное обеспечение как сервис);
- Взаимодействие пользователя с ИСА ГИС осуществляется посредством специального интерфейса и программных роботов (www-боты), функционирующих в сети IRC (Internet Relay Chat- Система диалогового общения по Интернету; IRC - протокол, предназначенный для общения в режиме реального времени по Интернету с архитектурой клиент-сервер);
- Рабочее компьютерное устройство пользователя имеет минимальное программное обеспечение, практически только браузер для выхода в Интернет;

например, в качестве такого устройства может быть использован планшетный компьютер.

В соответствии с приведенными концепцией и принципиальными положениями нами предложено новое техническое решение и разработан макет инструментальной справочно-аналитической геоинформационной системы – ИСА ГИС. Это решение защищено патентом Российской Федерации на полезную модель №113599 в 2012 году [1].

Система ориентирована на предоставление специального набора инструментов для осуществления профессиональной ГИС-обработки пользователям, не владеющим геоинформационными технологиями. Это обеспечивается использованием библиотеки стандартных процедур, разработанной на основе формализации технологических процессов и формулирования типовых задач предметной области с позиций методов ГИС-обработки. Библиотека содержит специальные программные процедуры, реализующие технологические процессы ГИС-обработки при решении формальных типовых задач. По сути дела, это специализированные программные роботы (боты), автоматически выполняющий жесткие программы, как для поиска необходимых исходных данных, так и реализующие набор формализованных процессов ГИС-обработки. В соответствии с указанной концепцией, в СГГА выполнены разработки по формализации процессов составления тематических карт[2] и блока представления мультимедийной информации[3].

Структурно, ИСА ГИС реализуется в соответствии с комплексной технологией и состоит из 3-х взаимодействующих технологических подсистем:

- **Интерфейсной подсистемы**, функцией которой является передача в процедурную подсистему запросов конечного пользователя, получение и отображение выходных документов;
- **Процедурной подсистемы**, функцией которой является автоматическая обработка справочных запросов, аналитическая обработка, формирование выходных документов и передача их в интерфейсную подсистему;
- **Административной подсистемы**, функцией которой является подготовка и формирование типовых технологических процедур для автоматической обработки запросов к системе.

Указанные подсистемы размещены на одном или нескольких серверах и соединены между собой и с рабочими компьютерными устройствами пользователей с помощью каналов связи через компьютерную сеть (Рис.1).

Интерфейсная подсистема (1) включает два блока (4, 5), отвечающих за ввод данных и создание изображения на рабочих компьютерных устройствах пользователей (12). Процедурная подсистема (2) включает два блока (6, 7), отвечающих за взаимодействие с пользователем и выполнение аналитических процедур по выбранным типовым результатам с использованием полнофункциональной геоинформационной системы (13). Административная подсистема (3) включает четыре блока (8, 9, 10, 11), отвечающих за хранение

пространственных, атрибутивных данных, служебных данных, управление системой и предоставлением доступа, обеспечивающих формирование и интеграцию в систему программных процедур решения нового типа задач.

Пользователь инструментальной справочно-аналитической геоинформационной системы в соответствии с собственной задачей пространственного анализа с помощью рабочего компьютерного устройства (12), блока отображения пользовательского интерфейса (5) и блока взаимодействия с пользователем (6) в интерактивном режиме выбирает из набора типовых результатов нужный ему. Набор типовых результатов представляет собой совокупность образцов решения различных типовых геоинформационных задач с возможностью ввода пользователем собственных исходных данных и настройкой параметров отображения результата.

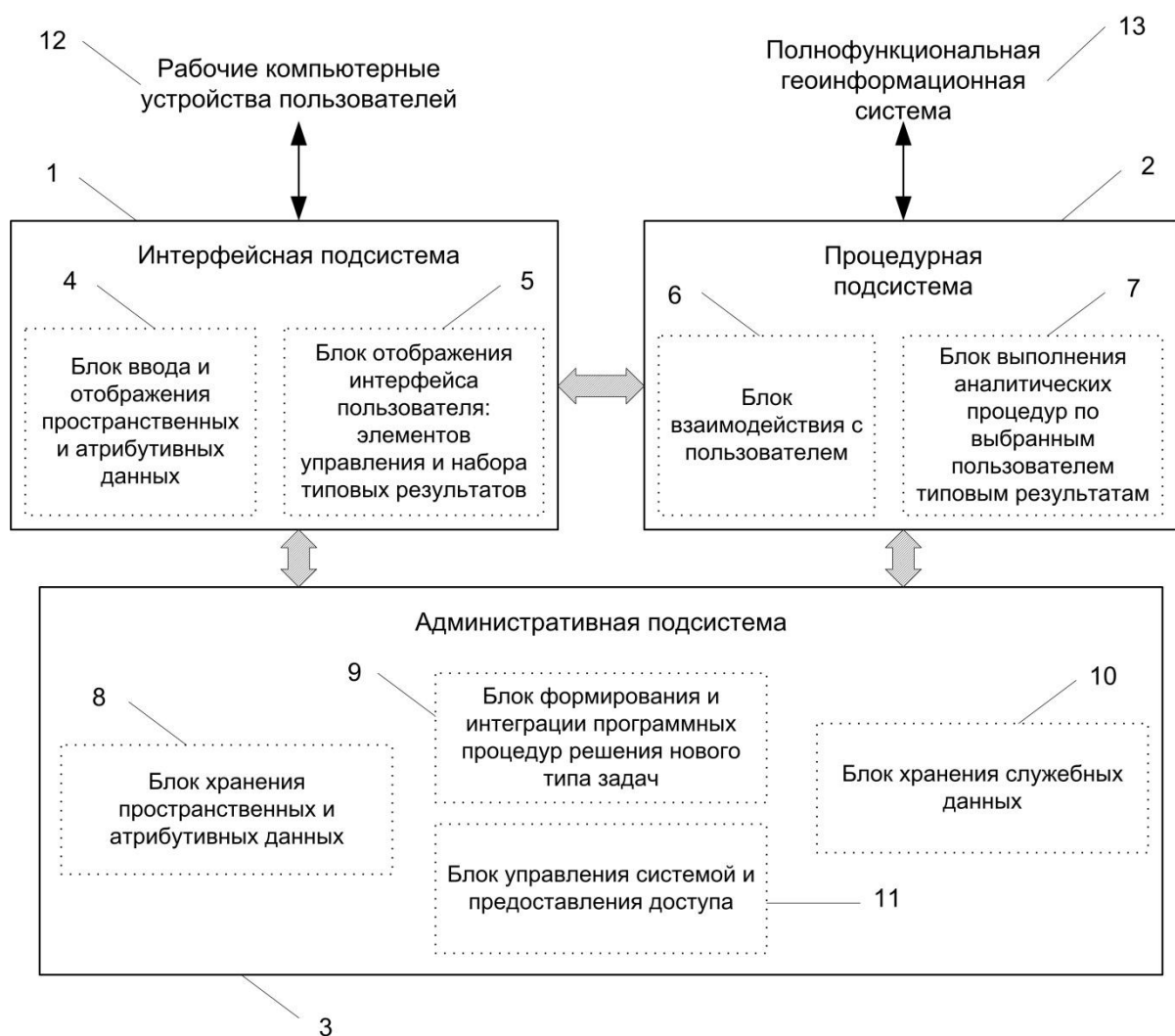


Рис. 1. Принципиальная схема ИСА ГИС

Блок ввода и отображения пространственных и атрибутивных данных (4), входящий в интерфейсную подсистему (1), организует ввод данных пользователем и формирует изображение для вывода результата на рабочие компьютерные устройства пользователей (12). Блок выполнения аналитических

процедур (7) в процедурной подсистеме (2) по выбранному пользователю типовому результату автоматически берет из блока хранения служебных данных (10) технологическую последовательность выполнения задачи и организует взаимодействие с полнофункциональной геоинформационной системой (13), которая выполняет базовые и аналитические геоинформационные процедуры.

Результат выполнения аналитических задач передается в интерфейсную систему (1), которая предоставляет его на рабочее устройство пользователя. При необходимости пользователь имеет возможность с помощью визуальных элементов управления изменить входные данные и настройки отображения итогового результата. В случае, если при решении собственной задачи пользователь не находит нужный образец в наборе типовых результатов, административная подсистема (3) отправляет запрос на создание нового типа задач (9) специалисту в области ГИС-технологий.

Пространственные и атрибутивные данные пользователей могут храниться, как на рабочих устройствах пользователей, так и в блоке хранения пространственных и атрибутивных данных геоинформационной системы (8). Управление инструментальной справочно-аналитической геоинформационной системой осуществляет администратор с помощью блока управления системой и предоставления доступа (11).

Функционирует ИСА ГИС в 2-х режимах (рис. 2):

- В режиме решения формализованных задач ГИС-обработки;
- В режиме пополнения библиотеки процедур ГИС-обработки.

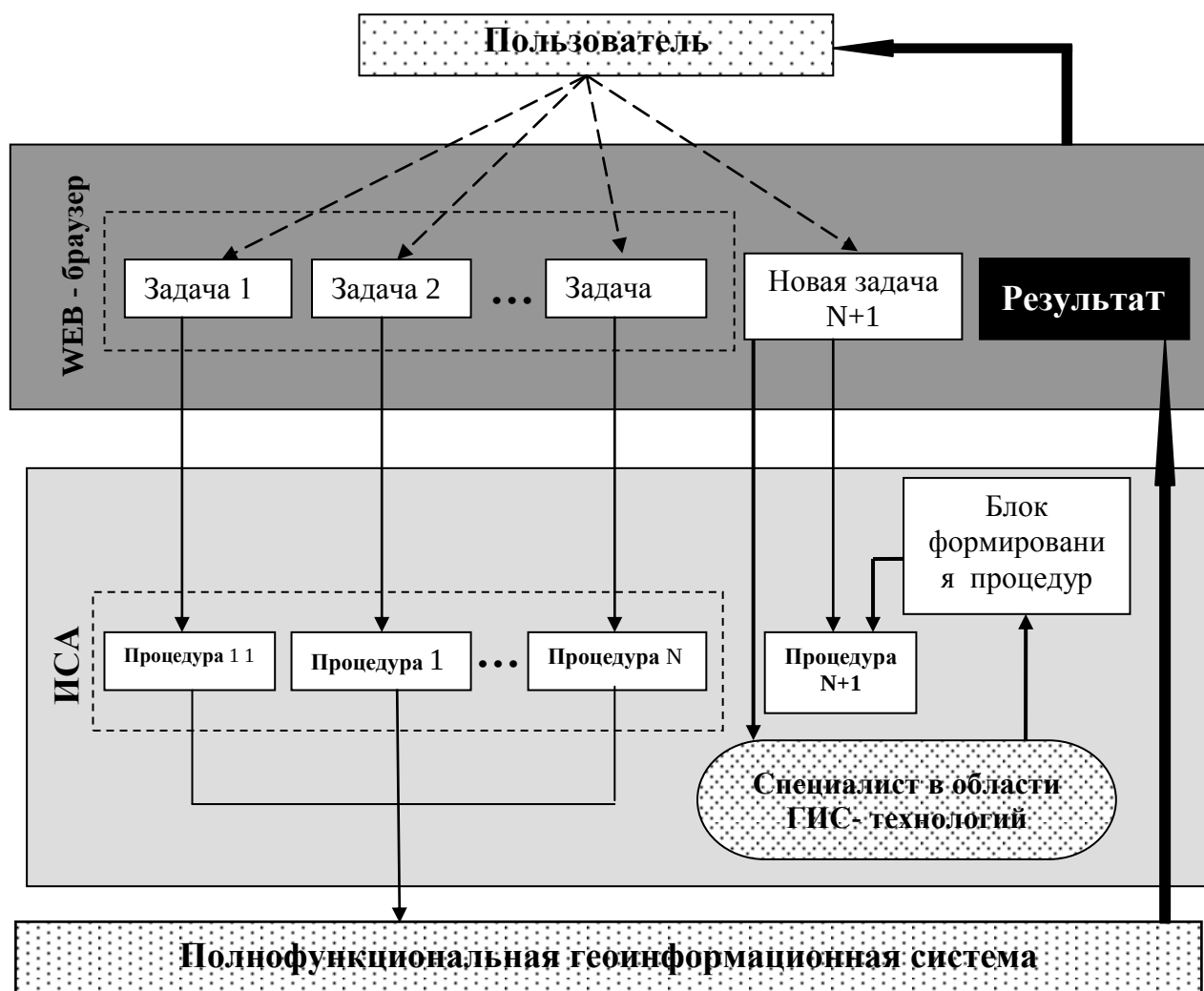


Рис. 2. Режимы функционирования ИСА ГИС

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструментальная справочно-аналитическая геоинформационная система. Патент Российской Федерации на полезную модель №113599. Авторы: Лисицкий Д.В., Кацко С.Ю., Писарев В.С., Бугаков П.Ю. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия».
2. Дышлюк С.С. Научно-методические основы формализации процессов составления тематических карт для реализации в ИСА ГИС. [Текст]/С.С. Дышлюк, О.Н. Николаева, Л.А. Ромашова, С.А. Сухорукова//ГЕО-Сибирь-2011. Т.1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск. - Новосибирск: СГГА, 2011, с.45-49.
3. Лисицкий Д.В. Проектирование интерфейса мультимедийного блока инструментальной справочно-аналитической ГИС. [Текст]/ Д.В. Лисицкий, Е.С. Утробина, А.А. Колесников, Е.В. Комиссарова//ГЕО-Сибирь-2011. Т.1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 1: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск. - Новосибирск: СГГА, 2011, с.205-209.

ИННОВАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПЛЕКСНЫХ ПРОЕКТАХ КОМПАНИИ «СОВЗОНД»

Нина Борисовна Ялдыгина

ООО «Компания Совзонд», 115563, г. Москва, ул. Шипиловская, 28а, Бизнес центр «Милан», ведущий специалист отдела программного обеспечения, тел. +7 (495) 988-75-11, e-mail: software1@sovzond.ru

В докладе будет рассказано о выполнении проектов и полученных результатах: 1) Создание геоинформационной системы для управления земельными ресурсами и объектами недвижимости Республики Бурятия.

2) Создание Центра космического мониторинга (в рамках Центра космических услуг) для обеспечения органов исполнительной власти Иркутской области оперативной информацией для принятия обоснованных и эффективных решений, а также для обучения студентов вуза современным космическим и геоинформационным технологиям.

Ключевые слова: Центр космического мониторинга, информационные технологии, геоинформационные системы, геопортал.

INNOVATIVE TECHNOLOGY OPPORTUNITIES IN COMPLEX SPACE PROJECTS OF SOVZOND COMPANY

Nina B. Yaldygina

SOVZOND, 28a, Shipilovskaya St., Moscow 115563, Russia, Leading specialist of software department, tel.: +7 (495) 988-75-11, e-mail: software1@sovzond.ru

The report contains information about the implementation and the results of the following projects: 1) Development of geoinformation system for the management of land resources and real estate of the Republic of Buryatia.

2). Creation of Space Monitoring Center (within the framework of Center of space services) to provide the executive authority of the Irkutsk region with the operational information to make informed and effective decisions and to teach high school students advanced space and geoinformation technology.

Key words: Space Monitoring Center, information technologies, geoinformation systems, geoportals.

Внедрение космических технологий в информационную инфраструктуру регионов самым эффективным образом сказывается на качестве обоснованных управленческих решений, и что немаловажно, на разработке концепций повышения инвестиционной привлекательности региона. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса и оперативный космический мониторинг являются высококачественной основой для разработки схем территориального планирования и градостроительной документации, дают исчерпывающую и достоверную информацию о природных ресурсах, транспортной и инженерной инфраструктуре, других объектах.

Новейшие информационные технологии — главная сфера интересов компании «Совзонд». Мы предлагаем концептуально новые инновационные подходы, работая над дальнейшим совершенствованием и развитием технологий, основанных на интегрированных серверных геоинформационных решениях и облачных вычислениях. В последние годы в деятельности компании все более актуальным становится развитие и внедрение решений, ориентированных на нужды различных отраслей народного хозяйства и представляющих собой готовые аппаратные программно-технологические комплексы, базирующиеся на данных ДЗЗ.

Компания «Совзонд» предлагает комплексный подход в использовании данных ДЗЗ — создание региональных центров космического мониторинга (РЦКМ) и их информационно-аналитическое обеспечение. Главная цель деятельности РЦКМ — получение, обработка и анализ оперативных данных ДЗЗ из космоса в целях предоставления наиболее полной, актуальной и объективной информации о природно-ресурсном потенциале, экономическом и экологическом состоянии территории для принятия управленческих решений.

В докладе будет рассказано о выполнении двух проектов и полученных результатах:

ПЕРВЫЙ ПРОЕКТ: Создание геоинформационной системы (ГИС) для управления земельными ресурсами и объектами недвижимости Республики Бурятия.

РЕЗУЛЬТАТЫ:

Разработан и внедрен геопортал имущественно-земельного комплекса Республики Бурятия.

Геопортал представляет собой электронный географический web-ресурс, который позволяет получать удаленный доступ к картографической и описательной информации с возможностями редактирования и анализа этих данных, сравнимыми с возможностями настольной ГИС.

Геопортал позволяет сотрудникам министерства имущественных и земельных отношений Республики Бурятия:

- Взаимодействовать в интерактивном режиме с потенциальными владельцами земельных участков, предоставляемых в собственность;
- Оперативно обнаруживать неточности картографической информации (недопустимые наложения, пересечения и т. д.);
- Рассчитывать экономический ущерб от простоя земельных участков (на основании кадастровой стоимости);
- Отслеживать изменения на кадастровой карте (плане) территории, что делает возможным своевременное предоставление всех необходимых документов в регистрационные службы;
- Иметь доступ к данным, полученным с космических аппаратов ДЗЗ.

Дальнейшее развитие геопортала позволит физическим лицам получать доступ к наглядному поисково-информационному сервису: можно будет просмотреть все свободные сформированные земельные участки, прошедшие

государственный кадастровый учет, и оставить заявку на получение выбранного участка. Геопортал будет полезен для инвесторов: на нем планируется отображать земельные участки, находящиеся в активе Республики Бурятия, а также земельные участки, для которых предоставлено преимущественное право выкупа арендуемого имущества из государственной собственности для субъектов малого и среднего предпринимательства.

ВТОРОЙ ПРОЕКТ: Создание Центра космического мониторинга (ЦКМ) (в рамках Центра космических услуг) для обеспечения органов исполнительной власти Иркутской области оперативной информацией для принятия обоснованных и эффективных решений, а также для обучения студентов вуза современным космическим и геоинформационным технологиям.

РЕЗУЛЬТАТЫ:

Создан комплекс обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли.

Обработка данных ДЗЗ ведется с использованием следующих программных средств:

- Trimble INPHO – для фотограмметрической обработки;
- ENVI – для тематической обработки.

Для создания геоинформационных систем, подготовки карт, выполнения ГИС-анализа используется программный комплекс ArcGIS.

В состав аппаратного обеспечения ЦКМ входит специализированный комплекс TTS, предназначенный для визуализации данных и интерактивного взаимодействия.

В настоящее время продолжают работы по созданию регионального геопортала, на котором будут представлены пространственные данные на территорию Иркутской области.

На данный момент создан прототип геопортала на территорию одного из районов Иркутской области.

Помимо космических снимков, на геопортале представлены картосхемы, отображающие изменения в различных сферах деятельности: появление вырубок, следы пожаров, разработок месторождений, строительства промышленных, транспортных, сельскохозяйственных и иных объектов и т. д.

Компания «Совзонд» - Ваш спутник в мире информационных технологий.

О РАЗВИТИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Ангелина Валентиновна Земцова

кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерское дело и геодезия, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, Республика Казахстан, тел. +7 (727) 278-17-22, e-mail: lina_1954@mail.ru

Жаксыбек Джакубекович Байгулин

доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерское дело и геодезия, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, Республика Казахстан, тел. +7 (727) 732-30-18, e-mail: baygurin@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы развития геодезических работ на геодинамических прогностических полигонах в Республике Казахстан. Отражены вопросы реконструкции Алмаатинской городской сети на основе геодинамической сети на базе спутниковой технологии.

Ключевые слова: прогностические геодинамические полигоны, реконструкция городских сетей.

ON THE DEVELOPMENT OF GEODESY AT THE GEODYNAMIC PROGNOSTIC TEST SITES IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Angelina V. Zemcova

Kazakh National Technical University K.I. Satpayev, 22 Satpayev , Almaty 050013, Republic of Kazakhstan, candidate of technical sciences, associate professor, department of surveying and geodesy tel. +7(727)278-17-22, e-mail: lina_1954@mail.ru

Zakubek D.Bajgurin

Kazakh National Technical University K.I. Satpayev, 22 Satpayev , Almaty 050013, Republic of Kazakhstan, doctor of technical sciences, hrofessor, department of surveying and geodesy, tel. +7 (727) 732-30-18, e-mail: baygurin@mail.ru

This article contains information about what the development of Geodesy at the geodynamic prognostic test sites in the Republic of Kazakhstan. Reflected issues of reconstruction of Almaty city network on the basis of geodynamic network based on satellite technology.

Key word: predictive geodynamic test sites, reconstruction of urban networks.

Среди потенциально опасных стихийных бедствий для Казахстана, по данным Агентства по чрезвычайным ситуациям РК, землетрясения занимают первое место. Этой опасности подвержено около 6 миллионов казахстанцев и около 450 тысяч квадратных км территории республики. В сейсмоопасной зоне расположено 27 городов и более 400 населенных пунктов. На этой территории находится около 40 % промышленного потенциала республики. Угрозе разрушительных землетрясений постоянно подвержены Алмаатинская,

Восточно-Казахстанская, Жамбылская, Южно-Казахстанская области и город Алматы. Земная кора Тянь-Шаня, у северного подножия которого находится город Алматы, является одной из наиболее сейсмоопасных во всей Центральной Азии. За сто с небольшим лет здесь произошло около десяти разрушительных землетрясений, два из которых – Чиликское 1889 г. и Кеминское 1911 г. имели магнитуду более 8 баллов и вошли в ранг мировых сейсмических катастроф [1].

В последние годы произошли 5–6 балльные землетрясения в Атырауской, Западно-Казахстанской и Карагандинской областях, 7–балльное Зайсанское землетрясение. В Западном Казахстане происходят интенсивные геодинамические процессы. Ситуация усугубляется тем, что здесь осуществляется добыча углеводородного сырья, которая в ряде случаев может привести к достаточно интенсивным техногенным землетрясениям. Поэтому проблемы прогноза землетрясений и снижения ущерба от этих катастроф и вызываемых ими вторичных геологических и техногенных факторов, имеют жизненно важное значение для обеспечения безопасности населения и объектов.

На территории Республики Казахстан планомерные исследования современной геодинамики геодезическими методами ведутся также на Талгарском и Жамбылском геодинамических полигонах. В административном отношении последний расположен на территории города Тараз и его пригородах, часть линий проходит по территории Кыргызской Республики. В 2006 г. в Восточно-Казахстанской области создан Зайсанский геодинамический полигон. В середине 1973 г. в эпицентральной зоне Чиликского (1889 г.) землетрясения была заложена линейная сеть – Шелекский (Алгабасский) полигон.

Вероятность возникновения деформаций земной поверхности для крупных мегаполисов, каковым является Алматы, достаточно велика. Деформации могут быть вызваны как техногенными, так и вполне естественными факторами: давлением на грунт зданий и сооружений, масштабным многоэтажным строительством, интенсивным освоением подземного пространства, нарастанием транспортных потоков и пр.

Кроме выше сказанного, территория Южного и Юго-Восточного Казахстана, в том числе и район Алматы, одна из наиболее сейсмоопасных в СНГ. На геологической основе, дополненной элементами новейшей тектоники и сейсмодислокацией, распределением эпицентров крупнейших землетрясений прошлого и проявлением современной сейсмичности, проведен целенаправленный выбор площадей для создания геодезических сетей с целью изучения движений земной поверхности в различных геолого-тектонических условиях.

Исследования по прогнозу землетрясений в Казахстане начались со второй половины 70-х годов XX в. созданием экспериментальной базы (Малого) Алматинского геодинамического прогностического полигона, территориально совпадающего с городом Алматы [2]. На полигоне систематически ведутся

наблюдения за вертикальными и горизонтальными движениями широким арсеналом средств.

Геодезическая сеть города уникальна тем, что в период с 1967 по 1971 годы здесь была создана линейно-угловая сеть Алматинского геодинимического полигона по программе 1 класса.

Данная сеть охватывает южную часть Илийской впадины, предгорную наклонную долину, прилавки Заилийского Алатау и характерные тектонические структуры. Два геодезических четырехугольника сети расположены в зоне Верненского (1887г.) землетрясения.

Итог многолетних исследований сводится к тому, что сейсмическая активность на территории города Алматы остается повышенной, что требует постоянного мониторинга геодезических данных, позволяющих изучать предвестники землетрясений.

В настоящее время в систему наблюдательных пунктов на Алмаатинском геодинимическом полигоне входят и станции спутниковых наблюдений.

В последние несколько лет наряду с традиционными геодезическими наблюдениями используются методы спутниковой геодезии. Комбинирование традиционных наземных и спутниковых измерений позволяет достаточно успешно решать задачи определения современных движений земной поверхности (СДЗП). Спутниковые технологии, благодаря своей высокой производительности, позволили с высокой периодичностью получать информацию о деформациях земной поверхности на базах от первых метров до нескольких десятков километров, что было затруднительным при использовании традиционных методик измерений [3].

Опорная геодезическая сеть современного города должна отвечать его постоянно растущим потребностям: обеспечивать получение полных и достоверных сведений о состоянии земель, природных объектов, построек, коммуникаций и других элементов городской инфраструктуры. Геодезические сети являются исходной основой не только кадастровых, но и всех топографо-геодезических, проектно-изыскательских и строительных работ на территории города. От их точности и плотности напрямую зависит качество указанных работ. Современная сеть города не способна решить все эти задачи.

Кроме того, значительное число геодезических пунктов утрачено или находится в непригодном состоянии. Необходима инвентаризация сети. Также назрела острая необходимость комплексной реконструкции геодезической сети города. Реконструкция городской геодезической сети в этом регионе будет первым шагом к обновлению геодинимической сети города Алматы.

Достичь требуемой точности и автоматизировать работы по построению этой сети позволяет применение спутниковых технологий при ее реконструкции. При этом спутниковые сети обеспечат единую систему координат на территории города, свяжут все объекты в одно целое, что позволит объединить топографо-геодезические и картографические данные в единую геоинформационную систему.

Современное высокоэффективное геодезическое обеспечение мониторинга земель в крупных городах открывает перспективу прогнозирования

недопустимых деформаций различных зданий, а также наземных и подземных инженерных сооружений, что позволяет принимать соответствующие меры по предотвращению разрушения этих объектов. По результатам спутниковых и высокоточных нивелирных измерений на пунктах геодинимической сети может быть построена карта современных движений земной поверхности с выделением зон с аномально высокими скоростями движений.

Для обеспечения надежной связи часть пунктов новой сети совмещается с пунктами существующих геодезических сетей. В новой сети каркасом может служить геодинимическая сеть, необходимая для повышения точности. Пункты такой сети по возможности должны совмещаться с пунктами повторного нивелирования I и II классов, входящими в состав Малого (Алматинского) геодинимического полигона, и стать основой для модернизации геодинимической сети города. С целью выявления активности отдельных участков геологической среды, выбранные пункты сети привязываются к различным структурным зонам. При этом в сеть включается часть пунктов, достаточно удаленных от зон активного техногенного воздействия на среду. Такой подход позволяет более объективно оценить значения возникающих деформаций. Желательно несколько пунктов привязать к международной спутниковой сети с целью определения их абсолютных координат в системе WGS- 84.

Медленные тектонические движения на территории города могут быть выявлены в результате повторных измерений на пунктах высокоточной спутниковой сети. Возникающие при этом деформации будут оказывать влияние на стабильность опорной геодезической основы, в связи с этим возникает необходимость периодических контрольных наблюдений на пунктах сети. При проведении таких измерений следует отделять реальную величину смещения от остаточного влияния систематических ошибок.

В городах, подверженных сейсмической опасности, а к таким и относится город Алматы, создаются также сети базовых станций вдоль основных линий разломов. Управление сетью таких базовых станций обычно выполняется с единого вычислительного центра. Величины и скорость изменения этих координат позволяют определить и проанализировать смещения и деформации точек расположения базовых станций. Подобные сети также могут быть использованы для наблюдения за смещениями природных и искусственно созданных объектов, например, ледников, оползней, плотин, высотных зданий и других сооружений.

Таким образом, задача реконструкции Алматинской городской сети – это создание на базе спутниковой технологии высокоточной опорной сети, определяющей единую метрику города и обеспечивающей основу для ее дальнейшего сгущения как спутниковыми, так и традиционными методами.

В Алматы каркасными пунктами новой сети могут служить пункты уже существующей линейно-угловой сети I класса Алмаатинского геодинимического полигона, которые должны быть обследованы на сохранность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 .12. 2003 г. № 1383 «Программа развития государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на 2004 – 2010 годы». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.government.kz/docs/p031383_20031231.htm
2. Атрущкевич П.А., Остропико П.А. Геодинамические исследования на Алма-Атинском полигоне //Современные движения земной коры. М.: Наука. – 1984. – С.23–28.
3. Генике А.А., Побединский г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии.- М.:Казгеоцентр.. – 2010. – 355 С.

© А.В. Земцова, Ж.Д. Байгулин, 2012

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ В РАЙОНАХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Анатолий Иванович Каленицкий

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры астрономии и гравиметрии, тел. (383)361-01-59

Эдуард Лидиянович Ким

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, начальник штаба гражданской обороны, тел. (383) 361-03-56, e-mail: 52tkrbv@rambler.ru

Владимир Адольфович Середович

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, проректор по научной работе и инновационной деятельности, тел. (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

В статье излагаются особенности выполнения мониторинга техногенной геодинамики на месторождениях с интенсивным извлечением углеводородов.

Ключевые слова: Геодинамический полигон, границы залежей нефти и газа, блоки горных пород, участки повышенной промышленной опасности, высокоточная гравиметрическая съемка.

FEATURES OF TECHNOGENIC GEODYNAMICS MONITORING IN REGIONS OF INTENSIVE OIL AND GAS PRODUCTION

Anatoly I. Kalenitsky

Ph.D., Prof., Department of Astronomy and Gravimetry, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: (383) 361-01-59

Eduard L. Kim

Chief of Civil Defense Headquarters, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: (383) 361-03-56, e-mail: 52tkrbv@rambler.ru

Vladimir A. Seredovich

Ph.D., Vice-rector for Science and Innovations, Siberian State Academy of Geodesy, 10 Plakhotnogo St., 630108 Novosibirsk, phone: (383) 343-39-57, e-mail: v.seredovich@list.ru

Features of technogenic geodynamics monitoring at the intensive extraction hydrocarbons deposits are considered.

Key words: geodynamic testing area, oil and gas pools boundaries, rock slabs, highly dangerous industrial sites, precise gravimetric survey.

Изучение предшествующего опыта изучения геодинамических процессов на месторождениях углеводородов (УВ) [1-8] показал следующее:

1. Отмечаются суперинтенсивные деформации земной поверхности по вертикали – до 50-70 мм в год (после 10-20 лет эксплуатации).

Они могут быть короткопериодичными (от 0.1 года до 2-3 лет), обладать пульсационной и знакопеременной направленностью. Они, как правило, связаны в плановом положении с зонами разломов в фундаменте и дизъюнктивных нарушений в осадочном чехле, включая и продуктивную толщу и, естественно, ВЧР.

2. Сложился традиционный подход к изучению геодинамических процессов на месторождениях УВ [4,8] с использованием высокоточных геодезических методов: нивелирования и координирования, иногда еще и гравиметрии.

Вместе с тем обозначились новые проблемы, которые требуют разрешения в каждом конкретном случае в нестандартной реализации. К ним относятся следующие:

1. Выбор места размещения пунктов опорной плановой и высотной сетей – иногда не существует место, где была бы гарантирована стабильность их положения, так как в районах сосредоточения залежей УВ трудно найти участки, не вовлеченные в процесс освоения месторождений, а границы раздела лицензионных участков в определенной степени условны [9-11].

2. Во многих случаях (и неизвестно где), но особенно в районах распространения вечной или сезонной мерзлоты, совершенно не гарантирована стабильность высотного положения пунктов государственной плановой и высотной сети, заложенных, как правило, еще в 50-х – 70-х годах прошлого столетия (рис. 1) . Данные в каталогах о координатах и, особенно, о высотах пунктов часто существенно отличаются от их реального положения. Возникает специфическое условие о необходимости сопоставления результатов натурных режимных измерений в относительном сравнении. При этом сами натурные измерения приходится производить в условной системе отсчета с образованием независимой от абсолютной привязки высот и плановых координат автономной сети [9-11].

3. Использование высокоточной гравиметрии в чисто «геодезическом» приложении к интерпретации ее результатов (определение через возмущающий гравитационный потенциал изменения уклонения отвеса для учета в нивелировании, аномалий высот – разницы между нормальными и геодезическими высотами). В настоящее время это не только анахронизм, но и бессмысленная трата средств, так как в равнинных районах освоения месторождений УВ это и не требуется делать. При этом речь идет, по существу, не о реальных геодинамических процессах, а об изменении (динамике) общего интегрального по сути гравитационного поля Земли. К тому же аномалии высот сейчас определяются достаточно точно как разность между высотами из нивелирования и спутниковых координатных определений [12].



Рис. 1. Состояние центра государственной нивелирной сети в условиях севера Западной Сибири

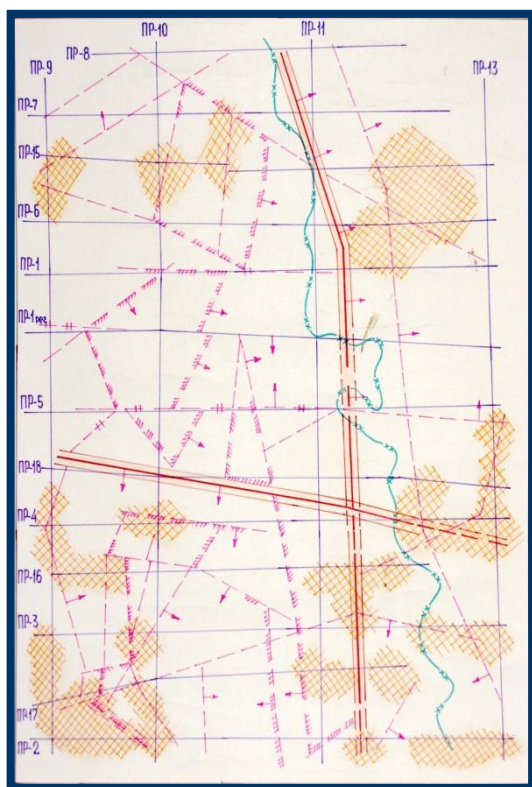
4. Гравиметрию как относительно малозатратный геофизический, высокоразрешающий метод следует использовать совместно с результатами нивелирования непосредственно для решения целого ряда задач. К ним можно отнести:

- Уточнение контура границ залежей нефти и газа;
- Выявление, картирование и уточнение (совместно с сейсморазведкой) положения разломов в фундаменте и дизъюнктивных нарушений в осадочном чехле;
- Направление смещения блоков в ВЧР;
- Определение уже после первого цикла натурных измерений участков повышенной промышленной опасности (рис. 3);
- Картирование местоположения флюидоподводящего канала жерловой фации в фундаменте;
- Корректирование положения расчетных интерпретационных профилей в пределах площади геодезическо-гравиметрического мониторинга в последующих циклах;
- Определение интервалов продолжительности и частоты повторения геодезическо-гравиметрических натурных измерений с целью выявления

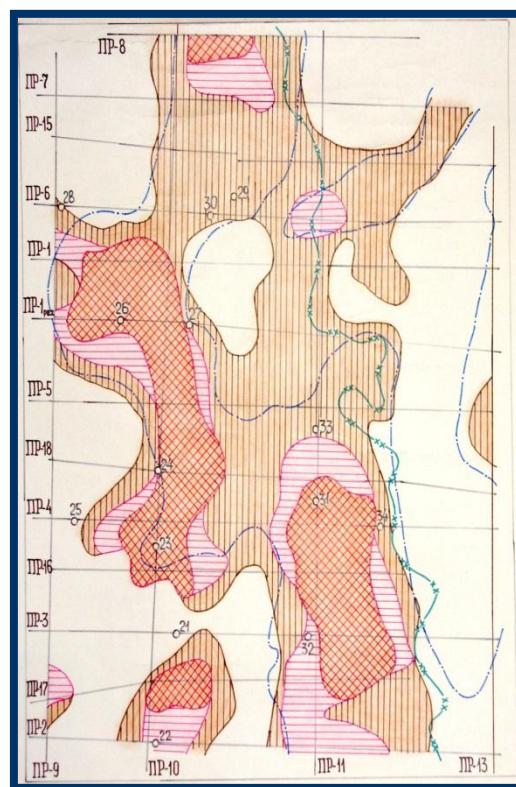
короткопериодных, в том числе сезонных, вертикальных смещений земной поверхности по расчетным профилям с обоснованием частоты повторенных измерений по времени и выработки рекомендаций по снижению последствий их воздействия на инфраструктуру месторождений (рис. 4); Выработка рекомендаций по объему, детальности и частоты натурных измерений в последующих циклах геодезическо-гравиметрического мониторинга техногенной геодинамики и предложений по снижению последствий ее воздействия на устойчивость промышленного и гражданского комплекса, природной среды.

– Определение объема перемещения масс в осадочном чехле и, как следствие, оценка его воздействия на устойчивость земной поверхности (рис. 4).

Приведем в связи с этим результаты качественной интерпретации изменения отметок высот реперов нивелирования и значений силы тяжести в 1-ом и 2-ом циклах на Вынгапуровском ГДП по одному из расчетных профилей.



А



Б

Рис. 2. Схема тектонических элементов (А) и карта прогноза нефтегазоности (Б) по данным гравиразведки на Южно-Иусском участке (по Каленицкому А.И.)

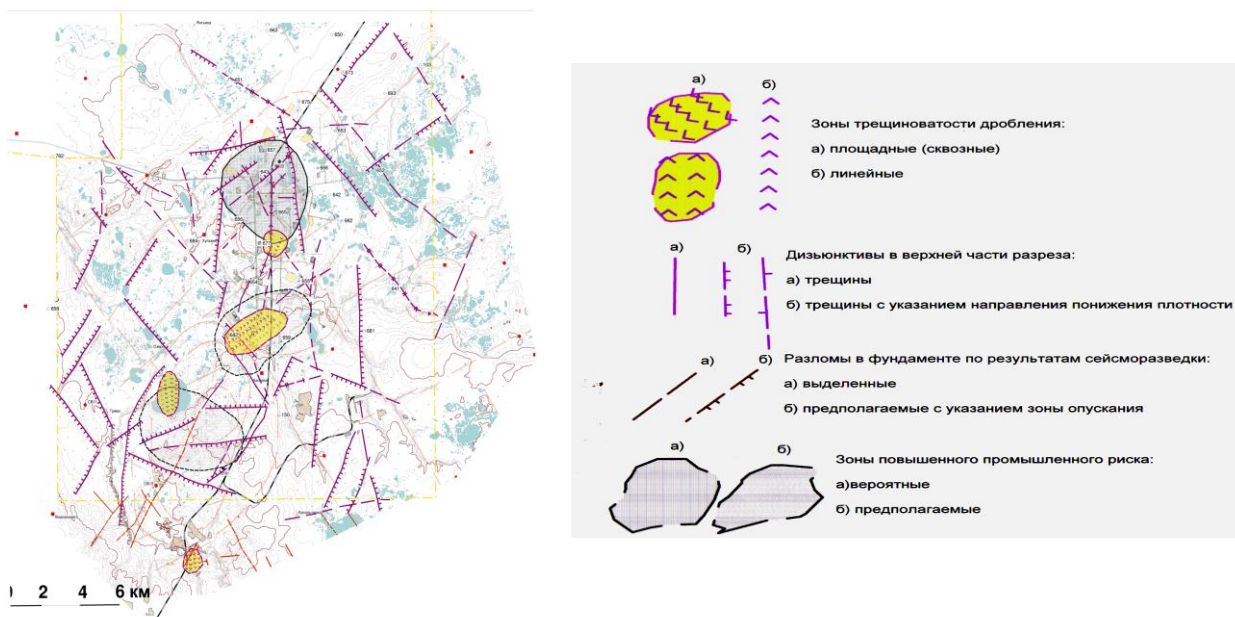


Рис. 3. Результаты комплексной интерпретации геодезическо-геофизических данных первого цикла Спорышевского геодинамического полигона

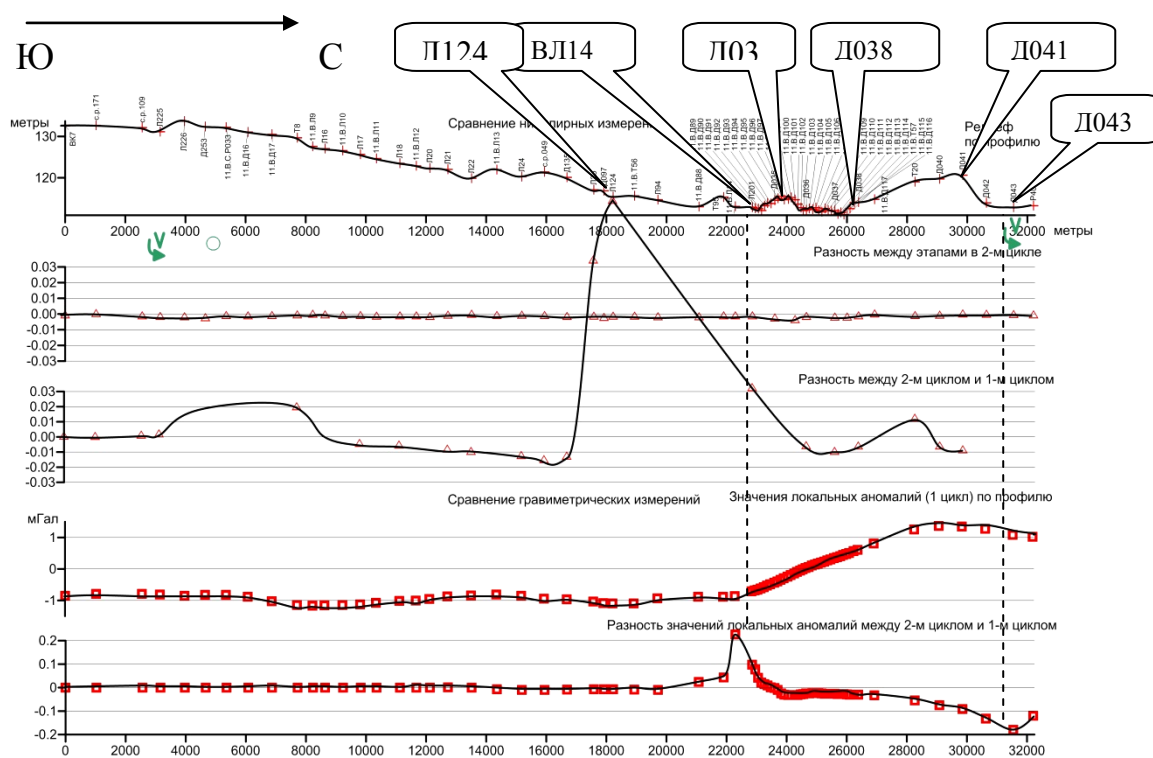


Рис. 4. Результаты сравнения наблюдений в 1 и 2 циклах по расчетному профилю Вынгапуровского ГДП

Наиболее значимые результаты, как по нивелированию, так и по гравиметрии получены для 1-го расчетного профиля. Профиль с юга на север пересекает зону пониженных значений локальных аномалий силы тяжести,

приуроченных в плане к толще продуктивных горизонтов с залежами углеводородного сырья, с выходом в северной части в зону положительной гравитационной аномалии, отражающей гравитационный эффект блока горных пород повышенной плотности. В интервале от пункта ВЛ14 до пункта Д038 в первом цикле измерений были закартированы дизъюнктивные нарушения северо-восточного и северо-западного простирания с пересечением предположительно в районе участка, расположенного западнее пунктов Д035 и Д036 на расстоянии 0,7-0,9 км.

Разность аномального гравитационного поля, по этому расчётному профилю отражает существенное перемещение масс в геологическом разрезе с его крайней северной части, в район выше указанного участка дизъюнктивных нарушений, создавая сугубо локальный максимум величиной +0,23 мГал (пункт ВЛ14). Дефицит масс в период между циклами создаёт отрицательный эффект с минимальным значением, равным -0,18 мГал (пункт Д043).

Предполагаемое перемещение масс в геологическом разрезе, по-видимому, нашло отражение и в своеобразных вертикальных смещениях земной поверхности, зафиксированных в отклики результатов нивелирования 2-го цикла от данных нивелирования в 1-ом цикле. В частности, это отражается знакопеременным (± 10 мм) смещением пунктов в интервале от Д036 к северу до Д041. Вслед за этим наблюдается всё возрастающее к югу поднимание поверхности рельефа местности до пункта Л124, где его величина составила 157 мм (0,157 м), а затем резко снижающееся: в пункте Л25 (+117 мм), в пунктах Д135, с.р. 049, Л24, Л22, Л21, Л18, Л17, соответственно -12, -15, -12, -9, -8, -5, -4 миллиметров. Далее к югу опять фиксируется поднятие поверхности порядка +20 миллиметров (от пункта Т18 до пункта Л226 – предположительно, так как в этом интервале измерения на промежуточных пунктах не производились).

Особо следует отметить, что в качестве пунктов геодинимической сети в пределах геодинимического полигона рекомендуется закреплять на местности не только традиционно закладываемые центры, но и центры, закрепляемые в основаниях зданий и сооружений, в фундаментах продуктопроводов и, особенно, в бетонных оголовках ликвидированных скважин, смещения по вертикали которых позволяет судить о степени подвижки всего блока ВЧР до глубины забоя скважин (рис. 5).

В настоящее время для оценки геодинимической безопасности месторождений требуются и используются результаты работ:

- Дистанционного зондирования (интерферометрическая обработка радиолокационных космических снимков);
- Геодинимического районирования (построение блочной модели месторождения, выделение активных разломов, динамически напряженных зон, составление карт современной геодинимической обстановки с выделением зон геодинимического риска);
- Анализа геолого- геофизической и геолого-тектонической информации (основных геолого-промысловых показателей, временных сейсмических разрезов), выполнения структурно-тектонических построений, составления

геолого-тектонической модели месторождения; Выполненных ранее геодезических измерений.



А



Б

Рис. 5. Пункт геодинимической сети, заложенный в оголовок ликвидированной скважины (А)- общий вид, (Б)- центр с устройством для принудительного центрирования

Все эти результаты следует учитывать при организации работ на ГДП. Программа работ при этом должна предусматривать оптимальный объем видов работ на геодинимическом полигоне (закладке глубинных реперов и пунктов гравиметрии, выполнения высокоточного нивелирования, координирования и гравиметрии).

Анализ выполненных работ на месторождениях УВ показал необходимость (при предварительном изучении имеющихся физико-геологических данных) **упреждающего** проведения высокоточной гравиметрической съемки на территории ГДП (желательно по профилям, совмещенным с магистралями и профилями сейсморазведки), результаты которой обеспечивают выявление особенностей ее геолого-тектонического строения, что позволяет произвести предварительную локализацию участков повышенного промышленного риска и конкретизировать выбор места закрепления долговременных пунктов-реперов высокоточных геодезических натурных измерений (нивелирования, координирования). При этом важное значение приобретает еще и детальное изучение и систематизация данных о физических свойствах горных пород геологического разреза.

Подобный порядок выполнения работ на ГДП может существенно сократить затраты на проведение натурных геодезическо-гравиметрических наблюдений в последующих циклах, произвести объемное моделирование объекта, уточнить дальнейшую схему организации геодинимического

мониторинга с целью сокращения сроков получения необходимых данных для оценки уровня геодинамической опасности в районах разработки месторождений УВ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 1 Горная энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия/ под ред. Е. А. Козловского. 1984—1991.
2. 2 Кузьмин, Ю.О. Современная геодинамика разломных зон осадочных бассейнов: дис. д-ра физ.-мат. наук.- М.:ИФЗ АН СССР, 1990.- 297 с.
3. 3 Кузьмин, Ю. О. Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов // Геологическое изучение и использование недр.-М.:Геоинформмарк, 1996.- Вып.4.- С. 43-53.
4. 4 Кузьмин, Ю.О. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород / Ю.О. Кузьмин, А.И. Жуков.-М.:МГГУ,2004.-262 с.
5. 5 Мегакомплексы и глубинная структура земной коры Западно-Сибирской плиты / Под. ред. чл.-корр. РАН СССР В.С.Суркова – М.: Недра, 1986.
6. 6 Геотектоническое районирование фундамента и чехла в свете современных данных и закономерности распространения залежей нефти и газа Сургутского свода и прилегающих территорий. Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО / В.Ф. Никонов, В.П. Санин, Н.Я. Медведев, И.М. Кос // (Материалы первой научно-практической конференции). - Ханты-Мансийск, 1998. - 150с.
7. 7 Гилязова, С.М. О влиянии тектоники на формирование Рогожниковского месторождения / С.М. Гилязова, А.В. Сиднев // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 10 – С. 47-49
8. 8 Панжин, А.А. GPS-технологии в геодезическом мониторинге НДС техногенного участка //Геомеханика в горном деле /ИГД УрО РАН. Сборник научных трудов. - Екатеринбург, 1999. -С.68-85.
9. Результаты применения гравиметрии и высокоточного нивелирования при локализации участков повышенного геодинамического риска на месторождениях углеводородов / А.И. Каленицкий, Э.Л. Ким, М.Д. Козориз, В.А. Середович // Вестник СГГА (Сибирской государственной геодезической академии).- Новосибирск: СГГА, 2010.- Вып.1(12).- С. 14-20.
10. Каленицкий, А. И. Результаты первого цикла натурных геодезическо-гравиметрических измерений на Вынгапуровском геодинамическом полигоне / А. И. Каленицкий, Э. Л. Ким // Геодезия и картография. - 2011. - N 8. - С. 30-35.
11. Результаты комплексных геодезическо-гравиметрических наблюдений на геодинамическом полигоне Спорышевского месторождения УВ / А.И. Каленицкий, Э.Л. Ким, В.А. Середович, М.Д. Козориз // ГЕО-Сибирь-2011, Пленарное заседание: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск.- Новосибирск: СГГА, 2011.- С. 62-71.
12. Каленицкий, А.И. Методика и результаты определения разницы геодезических и нормальных высот на территории Спорышевского и Западно-Суторминского геодинамических полигонов / А.И. Каленицкий, Э.Л. Ким // ГЕО-Сибирь-2008. Т.1,ч.2 : сб. матер. IV Междунар. Научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008», 22-24 апреля 2008 г., Новосибирск.- Новосибирск: СГГА, 2008.- С. 27-30

ГЕОДЕЗИЯ, КАРТОГРАФИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ И СПУТНИКОВ

Василий Александрович Малинников

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4; ректор, профессор, доктор технических наук, тел. (499)261-31-52

Андрей Александрович Майоров

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК) 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4; проректор по научной работе, доктор технических наук, тел. (499)261-69-53

Юрген Оберст

Берлинский технический университет, Германия, профессор

В докладе представлены результаты научно-исследовательских работ, выполняемых коллективом МИИГАиК по гранту Правительства Российской Федерации в рамках Договора № 11.G34.31.0021 от 30 ноября 2010 г. по теме «Геодезия, картография и исследование планет и их спутников».

GEODESY, CARTOGRAPHY AND PLANETS AND SATELLITES RESEARCH

Vasily A. Malinnikov

Ph.D., Prof., Rector of Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), 4 Gorokhovsky per., Moscow 105064, phone: (499) 261-31-52

Andrey A. Maiorov

Ph.D., Vice-rector for Research, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), 4 Gorokhovsky per., Moscow 105064, phone: (499) 261-31-53

Yurgen Oberst

Prof., Berlin State University, Germany

The paper presents the results of the investigations on the subject of “Geodesy, cartography and planets and their satellites research” conducted by the research team of MIIGAiK due to the grant of the Russian Federation Government according to Agreement # 11.G34.31.0021, November 30, 2010.

В рамках проведенных исследований выполнен значительный объем НИР: обработаны огромные массивы данных из различных информационных источников, в том числе международных межпланетных миссий КА «MEX», «LRO» («Lunar Reconnaissance Orbiter»), «Galileo», «Voyager-1, 2» и «Cassini». При этом достигнуты следующие новые научные результаты, которые в ряде случаев опережают современный уровень:

– Предложены и применены новые методы измерений аппаратно-центрических положений центров фигур Деймоса и Фобоса на фоне опорных звёзд с использованием обработки астрометрических наблюдений с борта КА «MARS EXPRESS»;

- Сформированы новые численные каталоги данных по обоим спутникам Марса Фобос и Деймос, а также выполнена проверка моделей их орбитальных движений;
- Создана новая сеть опорных точек поверхности Фобоса по данным «MARS EXPRESS», которая по точности и количеству измерений превосходит зарубежные аналоги, обеспечивая более точное представление о поверхности этого спутника Марса;
- Разработана новая мультифрактальная модель гравитационного поля притяжения Фобоса;
- На основе оригинальной мультифрактальной модели гравитационного поля притяжения Фобоса выполнено моделирование и рассчитаны значения потенциалов поля притяжения Фобоса;
- Представлены новые теоретические подходы, на основе которых рассчитаны силы основных компонентов результирующего гравитационного поля Фобоса для различных точек его поверхности;
- Выполнена обработка космических снимков в различных спектральных диапазонах, полученных камерой HRSC КА MEX, по которым синтезированы цветные изображения поверхности Фобоса и проведен анализ спектральных данных с расчетом индексов и построением соответствующих видов карт;
- Разработана геоинформационная система ГИС «Фобос» и выполнен сравнительный геоморфологический анализ с картографированием трех предполагаемых посадочных площадок на спутнике Марса.
- Выполнен анализ систем координат Луны, применяемой для советской программы лунных исследований, и американских систем координат ME и PI, определены параметры перехода для преобразований различными системами координат, что требуется для интеграции результатов посадок советских миссий в современную систему координат;
- Выполнено моделирование фигуры спутника Юпитера – Ио с созданием новой сети опорных точек, а также рассмотрены варианты аппроксимации глобальной фигуры этого спутника сферой, эллипсоидом вращения и трехосным эллипсоидом, выполнено картографирование Ио.
- Выполнено моделирование фигуры спутника Сатурна – Энцелада с созданием новой сети опорных точек, на основе которых созданы новые ортоизображения спутника с формированием фотокарты на отдельные участки Энцелада.
- Разработаны теоретические основы и рекомендации с целью формирования распределенного информационного хранилища планетарных данных, а также инфраструктуры, направленной на улучшение эффективности работы и развитие программно-технических комплексов, технологий и вычислительных ресурсов.

О высокой научной значимости проводимых исследований свидетельствует то, что результаты работ уже используются при подготовке новых миссий, таких как будущий российский проект Луна-Глоб, направляемый к Луне в поисках

воды, или европейский проект Марко-Поло, проектируемый для посадки и забора грунта с одного из астероидов Солнечной системы. В состав этого международного проекта включены несколько членов научного коллектива.

© В.А. Малинников, А.А. Майоров, Юрген Оберст, 2012