

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ОБЛАЧНЫХ WEB-СЕРВИСОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

*Алексей Александрович Бучнев*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

**Валерий Павлович Пяткин**

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

*Евгений Владимирович Русин*

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-73-32, e-mail: rev@ooi.sccc.ru

Рассматривается организация вычислений в облачных Web-сервисах для обработки спутниковых данных. Практически каждая вычислительная компонента некоторого Web-сервиса является пакетным вариантом соответствующей технологии программного комплекса обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) PlanetaMonitoring. Исключение составляют Web-сервисы, требующие интерактивного взаимодействия с пользователем: контролируемая классификация ДЗЗ и определение перемещений природных сред по координатам опознаваемых объектов. Эти технологии состоят из двух частей: исполняемого на компьютере пользователя интерактивного Windows-приложения и скрытой в облаке части.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, облачный Web-сервис, контролируемая классификация, сигнатура классов, опознаваемые объекты, триангуляция Делоне, аффинные преобразования, векторное поле

## **COMPUTING COMPONENTS OF CLOUD WEB-SERVICES FOR REMOTE SENSING DATA PROCESSING**

*Aleksey A. Buchnev*

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)330-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

**Valery P. Pyatkin**

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Professor, Chief Researcher

*Evgeny V. Rusin*

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)330-73-32, e-mail: rev@ooi.sccc.ru

The organization of computations in cloud Web services for satellite data processing is considered. Computing component of almost every service is a batch version of the corresponding technology of the PlanetaMonitoring software for processing remote sensing data. The exceptions are the technologies that require interactive communication with user, i.e., supervised classification of remote sensing data and movement tracking of natural environments by the coordinates of identifiable objects, each of which consists of two parts, i.e., an interactive Windows application running on the user's computer and the part hidden in the cloud.

**Keywords:** remote sensing, cloud Web service, supervised classification, class signature, identifiable objects, Delaunay triangulation, affine transformations, vector field

## *Введение*

Разрабатываемая в ИВМиМГ СО РАН система облачных Web-сервисов по обработке спутниковых данных содержит набор сервисов, соответствующих функционально полному набору программных технологий, включенных в состав программного комплекса по обработке данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) PlanetaMonitoring [1].

Перечислим некоторые из этих программных технологий: фильтрация спутниковых изображений; радиометрическая и геометрическая коррекция; географическая привязка; трансформирование в картографические проекции и построение мозаик из отдельных изображений; выделение линейных элементов и кольцевых структур; распознавание и классификация объектов окружающей среды (кластерный анализ и классификация с обучением); определение пространственных перемещений объектов по разновременным спутниковым изображениям. Заметим, что некоторые технологии уже реализованы в виде облачных Web-сервисов и доступны пользователям сети Internet (см., например, [2]).

По сути, практически каждая вычислительная компонента некоторого Web-сервиса является пакетным вариантом соответствующей программной технологии комплекса PlanetaMonitoring: для обращения к сервису необходимо передать в облачную среду текстовый файл, содержащий параметры обработки.

Исключение составляют следующие Web-сервисы:

1) классификация с обучением – процесс обучения классификатора (построение сигнатур классов) возможен только на основе интерактивного взаимодействия с пользователем; в связи с этим этап обучения классификатора необходимо выделить в отдельный процесс, который может быть загружен на компьютер пользователя; результаты работы процесса обучения передаются в облачную среду для запуска основного этапа работы классификатора;

2) построение полей перемещений природных сред по серии последовательных спутниковых изображений на основе координат опознаваемых объектов – ввод координат таких объектов на соседних по времени изображениях также выделяется в исполняемый на компьютере пользователя отдельный процесс; в последующем файл с введенными координатами объектов передается в облачную среду для запуска основного этапа работы Web-сервиса.

## Облачный Web-сервис контролируемой классификации данных дистанционного зондирования

Архитектурно Web-сервис контролируемой классификации данных ДЗЗ состоит из двух частей: модуля, предназначенного для построения классификатора и выполняющегося на компьютере пользователя, и собственно скрытой в облаке части, выполняющей классификацию по данным построенного классификатора.

*Построение (обучение) классификатора.* В дальнейшем под элементом будем понимать отдельный вектор признаков, а под объектом блок смежных векторов квадратной либо крестообразной формы.

Система контролируемой классификации состоит из 9 классификаторов [3]: одного поэлементного и 8 объектных. Поэлементный классификатор работает с каждым вектором признаков независимо от остальных векторов. Объектные классификаторы (4 для квадратных объектов и 4 для крестообразных) классифицируют объект целиком. Результат зависит от выбранного типа связи между векторами внутри объекта (4 типа связей).

В модуль, осуществляющий построение классификаторов, работающих на основе байесовской стратегии максимального правдоподобия, включены функции пользовательского интерфейса, с помощью которых осуществляется ввод и редактирование обучающих и контрольных полей, предназначенных для построения сигнатур классов (оценки векторов средних, ковариационных матриц, коэффициентов пространственной корреляции между значениями координат соседних векторов в горизонтальном и вертикальном направлениях для объектных классификаторов). Рис. 1 демонстрирует процесс ввода обучающих и контрольных полей классов.

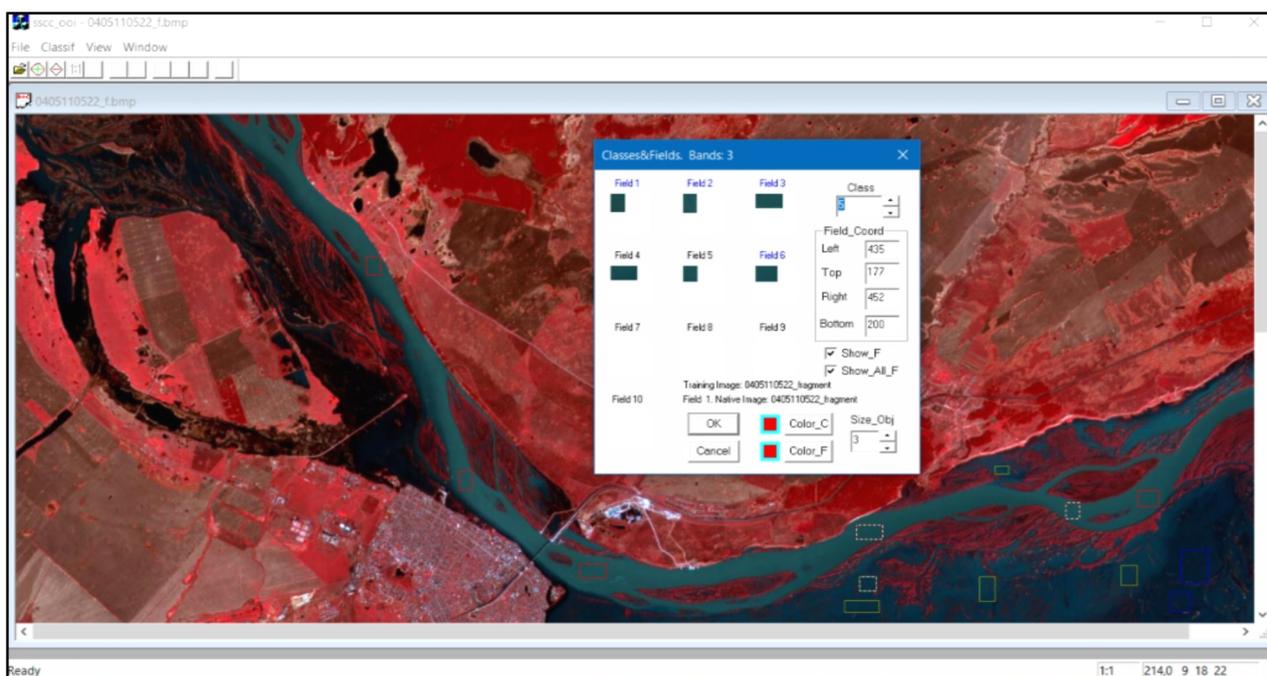


Рис. 1. Окно ввода обучающих и контрольных полей

Представлен фрагмент снимка со спутника SPOT-4, полученного 4-го мая 2011 г. Изображена паводковая ситуация в районе Камня-на-Оби. Выделялось 6 зон затопления. Дополнительно задаются априорные вероятности классов и пороговые значения для дискриминантных функций классов. Пороговые значения позволяют управлять занесением классифицируемых векторов в классы: пусть  $g_i(x)$  – дискриминантная функция с максимальным значением для вектора  $x$  и  $T_i$  – пороговое значение для  $i$ -ой функции; тогда вектор  $x$  заносится в класс с номером  $i$ , если  $g_i(x) < T_i$ . Предоставляется выбор способа задания пороговых значений (всего 5 способов, один из которых – без порога). Использование различных пороговых значений позволяет создавать дополнительные карты классификации.

Результатом работы программы является файл конфигурации, содержащий текущее состояние (конфигурацию) системы построения классификатора (имена обучающих образов, характеристики обучающих и контрольных полей, статистические параметры классов, априорные вероятности классов, размер объекта, пороговые значения и т.п.) Этот файл может быть использован в дальнейшем либо для возобновления прерванного сеанса работы, либо для настройки на новые обучающие образы. Протокол работы программы может быть сохранен в виде текстового файла. Файл протокола содержит ту же информацию, что и файл конфигурации, дополненную результатами работы классификаторов на обучающих и контрольных полях (вероятности правильной классификации, матрицы перекрестных ссылок). Анализируя матрицы перекрестных ссылок и редактируя обучающие и контрольные поля, можно добиться приемлемого уровня вероятности правильной классификации.

*Облачная компонента* Web-сервиса в качестве входного параметра принимает текстовый файл, содержащий имя обрабатываемого файла данных, имя файла конфигурации, имя выходного файла и номер классификатора.

Результатом работы программы является одноканальное (байтовое) изображение, значениями пикселей которого являются номера классов. Это изображение окрашивается в predetermined colors.

### ***Облачный Web-сервис построения полей перемещений природных сред по разновременным спутниковым снимкам с использованием координат опознаваемых объектов***

Одним из важных направлений использования спутниковых данных является мониторинг перемещений загрязнений водной среды и ледяных полей в морских акваториях.

*Опознаваемые объекты.* Задача построения полей распространения загрязнений морской среды по разновременным спутниковым данным находится в тесной связи с задачей определения скорости и направления векторов пространственных перемещений водных масс [4]. В качестве исходных данных в задаче используется спутниковая информация видимого, инфракрасного или микроволнового (радиолокационные данные) диапазонов. Используется метод построения полей пространственных перемещений водных масс по опознаваемым изменениям некоторых водных объектов (трассеров) на последовательных спутниковых изображениях, трансформированных в единую картографическую проек-

цию. В качестве трассеров на изображениях оптического диапазона используются водные объекты, сформировавшиеся в результате цветения вод (линейные и вихревые структуры распределения фитопланктона и водорослей). Для изображений инфракрасного диапазона в качестве трассеров используются, в основном, линейные и вихревые термические структуры, для радиолокационных изображений – нефтяные пленки и пленки биогенных загрязнений.

Аналогичный подход используется в мониторинге пространственных перемещений ледяных полей. Здесь используются, в основном, мозаики, составленные из трансформированных в одну и ту же картографическую основу радиолокационных спутниковых снимков (наиболее часто используются, из-за их значимости для целей метеорологии и проводки судов, снимки Северного Ледовитого океана).

Процесс ввода координат объектов-трассеров состоит в указании их положения на текущем и следующем по времени изображениях и сохранении введенных координат в файле, который будет передан в облачную среду для завершающей стадии обработки.

*Облачная компонента.* По введенным координатам объектов на текущем изображении строится триангуляция Делоне. Каждому треугольнику триангуляции соответствует треугольник на следующем изображении. Такое множество пар треугольников задает множество кусочно-аффинных преобразований плоскости. Эти преобразования применяются к узлам регулярной сетки на текущем изображении, формируя тем самым требуемые векторы перемещений. На рис. 2 приведен фрагмент изображения Северного Ледовитого океана с построенной по координатам объектов триангуляцией Делоне и узлами сетки.

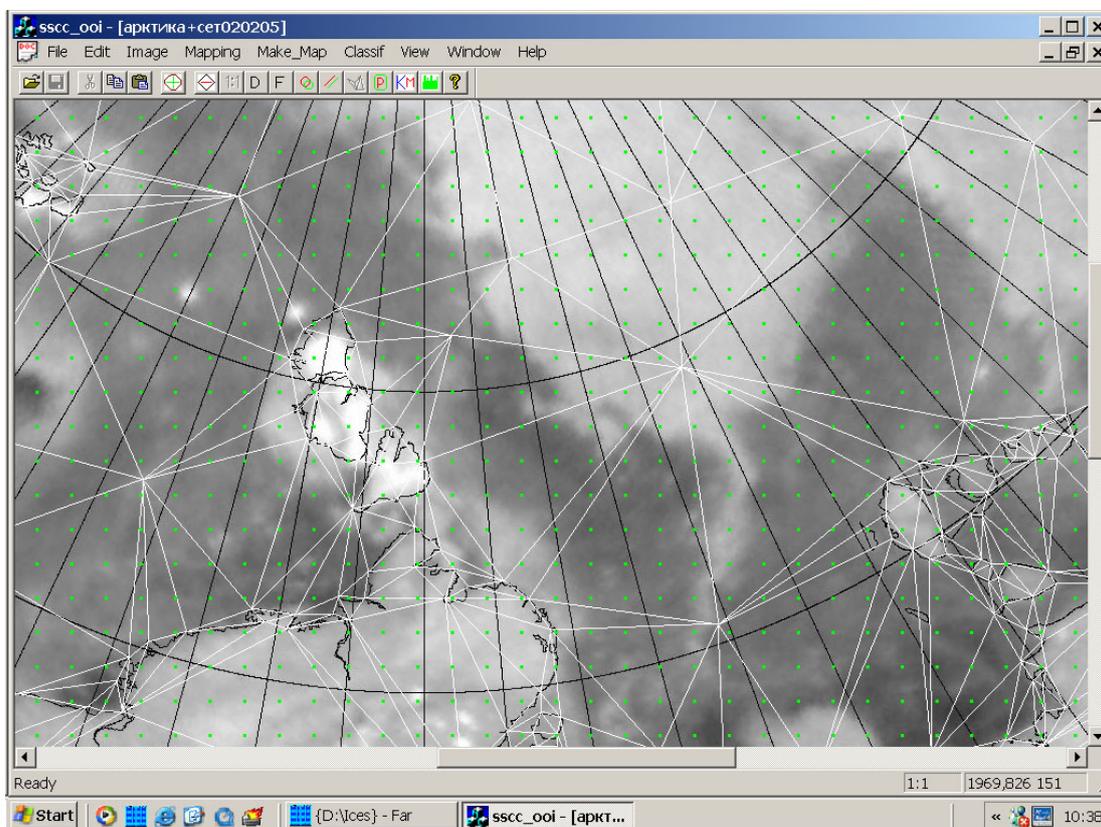


Рис. 2. Фрагмент триангуляции Делоне с узлами сетки

Одновременно с построением поля векторов пространственных перемещений водных масс могут быть построены гистограммы скоростей и направлений этих векторов.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН 0251-2021-0003.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асмус В.В., Бучнев А.А., Кровотынцев В.А., Пяткин В.П., Салов Г.И. Комплекс программного обеспечения Planetamonitoring: в прикладных задачах дистанционного зондирования // Автометрия. – 2018. – № 3. – С. 14-23.

2. Бучнев А.А., Ким П.А., Пяткин В.П., Салов Г.И. Макет облачного Web-сервиса по выделению линеаментов и кольцевых структур на космических изображениях // Журн. Сиб. Федерального Ун-та. Техника и Технология. – 2017. – Т. 10, № 6. – С. 741-746.

3. Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Контролируемая классификация данных дистанционного зондирования Земли // Автометрия. – 2008. – № 4. – С. 60-67.

4. В.В. Асмус, А.А. Бучнев, В.А. Кровотынцев, В.П. Пяткин. Комплекс программного обеспечения в задачах космического мониторинга опасных гидрометеорологических явлений // Проблемы информатики. – 2018. – № 4 (41). – С. 34-49.

© А. А. Бучнев, В. П. Пяткин, Е. В. Русин, 2021