

ВЛИЯНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Максим Александрович Алтынцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Каркокли Хамид Маджид Сабер

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)173-41-25, e-mail: enghamid72@yahoo.com

Для обследования состояния дорожного покрытия применяются различные технические средства. Одним из наиболее современных методов оценки состояния дорог является мобильное лазерное сканирование (МЛС), позволяющее получить точечную модель дорожного покрытия с высокой плотностью, точностью и за короткий промежуток времени. Выполнив построение цифровой модели поверхности (ЦМП) по массиву точек лазерных отражений (ТЛО), можно выявить различные дефекты дорожного полотна, оценить его ровность. Необходимым условием получения достоверных результатов обследования является повышенная точность предварительно обработанного массива ТЛО. В процессе предварительной обработки выполняется калибровка 2D сканеров и цифровых камер, уравнивание массивов ТЛО, фильтрация данных. Необходимость повышенной точности результатов предварительной обработки в целях построения ЦМП накладывает определенные требования к методикам обработки данных. Для этого часто следует выполнять дополнительный анализ точности данных МЛС. В статье анализируются результаты предварительной обработки данных МЛС с целью построения высокоточных ЦМП дорожного покрытия.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, цифровая модель поверхности, предварительная обработка, точность.

IMPACT OF MOBILE LASER SCANNING DATA PRELIMINARY PROCESSING RESULTS ON ACCURACY OF GENERATING DIGITAL MODELS OF ROAD PAVEMENT

Maxim A. Altyntsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Karkokli Hamid Majid Saber

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, student, Ph. D Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)361-01-59, e-mail: enghamid72@yahoo.com

Various technical equipment is used for surveying the condition of the road surface. One of the most modern methods for assessing the state of roads is mobile laser scanning (MLS), which allows obtaining a point model of road surface with high density accuracy and within a short period of time. After generating a digital surface model (DSM) from an array of laser points, we can identify various defects of the roadway and evaluate its flatness. A prerequisite for obtaining reliable survey results is increased accuracy of the pre-processed point cloud. During the pre-processing 2D scanners and digital cameras are calibrated, point clouds are adjusted and filtered. The necessity for increased accuracy of pre-processing results for the purpose of generating the DSM imposes certain requirements on data processing techniques. For this purpose, additional study of the MLS data accuracy should be often carried out. The results of preliminary processed MLS data in order to generate high-accuracy DSM of road pavement are discussed.

Key words: mobile laser scanning, digital surface model, preliminary processing, accuracy.

Введение

Обследование покрытия автомобильных дорог – это один из основных видов работ, выполняемый в процессе определения качества осуществления дорожно-строительных работ. Данное обследование позволяет установить, были ли в процессе строительства или ремонта нарушены нормативные требования. В задачу обследования покрытия входит определение ширины проезжей части и обочин, ровности и шероховатости дорожного покрытия, местоположения трещин и выбоин, их размера [1–3].

Для решения данных задач применяются дорожные лаборатории, функционирующие на основе специализированных автомобилей. Помимо состояния дорожного покрытия данные лаборатории позволяют измерить геометрические характеристики дорог, такие как продольные и поперечные уклоны, расстояния прямой видимости поверхности дорог, радиусы кривых. В состав дорожной лаборатории может входить такое оборудование, как видеокамеры, фотокамеры, спутниковый приемник, инерциальная навигационная система, датчики положения платформы, ультразвуковой профилометр, георадар, лазерные сканеры, модуль сбора информации, бортовой компьютер с установленным программным обеспечением [4].

В качестве дорожной лаборатории часто применяются универсальные системы МЛС, включающие следующее оборудование: фотокамеры, 2D лазерные сканеры, спутниковые приемники, инерциальная навигационная система, блок управления, бортовой компьютер, датчики положения платформы. Системы МЛС могут устанавливаться на любые транспортные средства. Результатом мобильного лазерного сканирования и последующей обработки его данных является единый массив ТЛО. Плотность точек в данном массиве зависит от технических характеристик съемочной системы, а именно частоты сканирования, количества сканеров, дальности распространения лазерного луча, скорости движения транспортного средства и количества повторных проездов по одному и тому же участку [5–11]. Определение всех дефектов дорожного полотна при использовании системы МЛС осуществляется по массиву ТЛО в результате постобработки с помощью различных специализированных алгоритмов. Чтобы выявить мелкие дефекты требуется высокая плотность данных, уравненных с максимально

возможной точностью и фильтрованных от различных шумовых составляющих. Фильтрация и уравнивание данных выполняется на этапе предварительной обработки. Для выявления дефектов по предварительно обработанным массивам ТЛО выполняют построение цифровых моделей поверхности [2, 12].

Особенности предварительной обработки данных МЛС

Предварительная обработка данных МЛС выполняется непосредственно после завершения полевого этапа лазерного сканирования. Существуют различные методики предварительной обработки данных. В общем виде методика предварительной обработки заключается в том, что сначала выполняется расчет траекторий по данным со спутниковой аппаратуры, инерциальной системы и базовых станций. Обычно для этого применяется отдельное программное обеспечение. Далее рассчитанные траектории, совместно с необработанными массивами ТЛО и цифровыми фотографиями, подгружаются в специализированные программы, где сначала выполняется калибровка сканеров, то есть определяются их элементы взаимного ориентирования. Затем выполняются автоматические этапы фильтрации и уравнивания массивов ТЛО. В процессе уравнивания устраняются двоения между массивами ТЛО, полученные при повторном сканировании одного и того же участка местности, чаще всего при сканировании в противоположных направлениях. В дальнейшем для внешнего ориентирования уравненного массива точек применяют координаты опорных точек, измеренные на местности другими геодезическими приборами [13–16].

Основные проблемы при разработке методик предварительной обработки данных МЛС заключаются в необходимости их адаптации к определенным условиям сканирования и определенной местности: погодные условия съемки, характер застройки территории. При сухих погодных условиях при фильтрации данных достаточно выделять точки земли с помощью алгоритмов классификации ТЛО. Сканирование, выполненное во время или после выпадения осадков, требует при обработке применения различных дополнительных алгоритмов фильтрации данных для удаления точек переотражения от водных объектов и сглаживания поверхностей. Алгоритмы уравнивания проездов в данных МЛС для территорий с плотной городской застройкой за счет наличия большого количества стен практически полностью автоматизированы, в то время как для территорий с отсутствием вертикальных объектов требуется разрабатывать методики полуавтоматической обработки. Количество необходимых опорных точек при внешнем ориентировании массива ТЛО также зависит от степени застройки территории [17].

Пример результатов предварительной обработки данных МЛС

Для того, чтобы определить, как методика предварительной обработки данных МЛС влияют на точность построения цифровых моделей поверхности автомобильных дорог рассмотрим результаты уравнивания данных на территорию

автодороги Талакан–Витим (рис. 1). Участок территории был разделен на 7 частей. Съемка каждого участка была осуществлена с помощью системы МЛС Riegl VMX-250 в прямом и обратном направлении [18, 19]. Во время сканирования каждого участка, отмеченного на рис. 4 отдельным цветом, была запущена одна из ближайших базовых станций: ДНС, НГДУ, В1, В2, В3, D20. ДНС и НГДУ – это постоянно действующие базовые станции с известными координатами. Координаты остальных станций определялись в результате создания и уравнивания сети съемочного обоснования от пунктов государственной геодезической сети (ГГС) путем спутниковых наблюдений. Максимальное расстояние между базовыми станциями не превысило 26,7 км (между НГДУ и В1).



Рис. 1. Участок трассы Талакан – Витим

Уравнивание каждого участка МЛС сначала было выполнено от каждой базовой станции отдельно, а затем совместно, с учетом зон перекрытия между данными участками. Уравнивание осуществлялось автоматизированным способом посредством поиска связующих точек и линий между проездами в различных направлениях. Поиск связующих линий выполнялся автоматически в пределах дорожного покрытия каждые 10 м. В табл. 1 показаны результаты относительной оценки точности после уравнивания. На рис. 2 показан пример сечения массива ТЛО глубиной 10 см для области асфальтового покрытия до и после уравнивания.

Таблица 1

Относительная оценка точности после уравнивания

	Связующие точки и линии		
	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,009	0,004	0,003
Средняя квадратическая ошибка	0,012	0,007	0,010
Максимальная ошибка	0,033	0,025	0,046

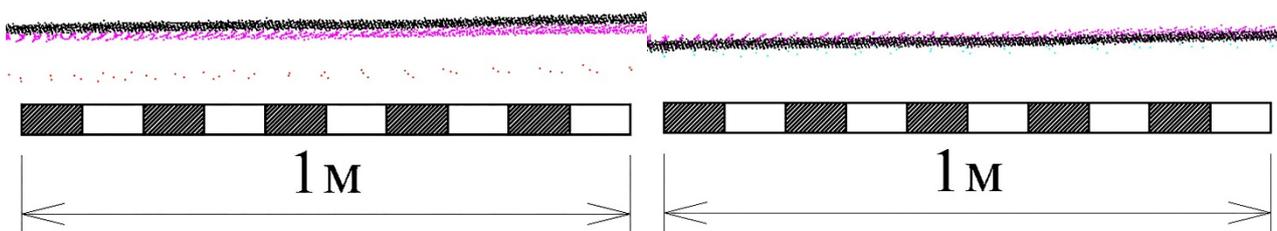


Рис. 2. Пример сечения массива ТЛО до и после уравнивания

Уравненные по связующим точкам и линиям данные МЛС были трансформированы в местную систему координат на основе рассчитанных параметров трансформирования по координатам пунктов опорной сети и ГГС, известных в системе координат СК-95 и измеренных с помощью спутниковых приемников в WGS-84.

Каждый километр пути с помощью спутниковых приемников измерялись координаты опорных и контрольных точек, размещенных на границе асфальтового покрытия напротив километровых столбов. Массив точек лазерных отражений был уравнен по опорным точкам, размещенных каждые 2 км. Для уравнивания использовался алгоритм, трансформирующий массив ТЛО таким образом, что ошибки трансформирования по опорным точкам были равны нулевым значениям. Контрольные точки располагались каждые 2 км между опорными. Точность уравнивания по контрольным точкам приведена в табл. 2. Из табл. 1 и 2 видно, что значения ошибок в высотном положении больше, чем в плановом.

Таблица 2

Абсолютная оценка точности уравнивания по контрольным точкам, размещенных через 2 км

	Связующие точки и линии		
	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,014	0,017	0,020
Средняя квадратическая ошибка	0,016	0,016	0,022
Максимальная ошибка	0,085	0,064	0,110

Оценка точности результатов уравнивания, приведенная в табл. 1 и 2, показывает, что данные МЛС пригодны для решения большинства задач, решаемых по данным топографических съемок, в частности для составления топографических планов масштаба 1:500. Но данной точности может оказаться недостаточно при решении задач, требующих повышенной точности. При решении задачи выявления дефектов дорожного полотна и построения цифровых моделей его поверхности должно полностью отсутствовать двоение массивов ТЛО, полученных из разных проездов. Для этого часто следует применять дополнительные приемы предварительной обработки данных МЛС.

Чтобы оценить точность уравнивания данных МЛС в целях построения ЦМП автодороги был выбран участок с наибольшими ошибками уравнивания, располагающийся на стыке желтого и бирюзового проездов (рис. 1), первоначально обработанных от различных базовых станций – НГДУ и ДНС. Северная часть выбранного участка (рис. 3) включает массив ТЛО, полученный при сканировании от обеих базовых станций, а южная – только от станции ДНС. Ошибки высотного положения относительно ровного асфальтового покрытия вносят большой вклад в точность построения их ЦМП. По этой причине, а также из-за того, что значения плановых ошибок меньше высотных, дальнейшая оценка точности выполнялась только в высотном положении. Траектории сканирования представлены на рис. 3 различными цветами.

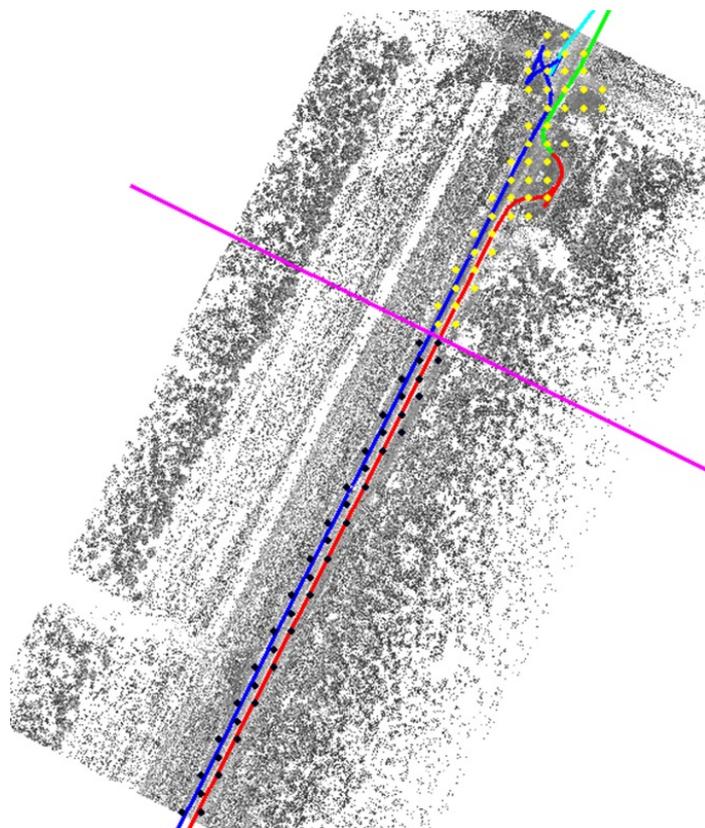


Рис. 3. Участок трассы Талакан – Витим

Для более надежной оценки точности уравнивания рассматриваемого участка в пределах дорожного покрытия был дополнительно выполнен поиск связующих линий с меньшим шагом – 2 м. По найденным линиям выполнялся поиск поправок, которые затем применялись к данным МЛС. В табл. 3 приведены результаты относительной оценки точности по связующим линиям до уравнивания и после него. Вследствие размещения связующих линий с меньшим в 5 раз шагом значение максимальной ошибки в высотном положении до уравнивания составило большее, чем в 2 раза значение. После уравнивания значение данной ошибки уменьшилось до 0,081 м.

Таблица 3

Относительная оценка точности данных МЛС
с увеличенной плотностью размещения связующих линий

	Связующие линии, Z	
	до уравнивания, м	после уравнивания, м
Средняя ошибка	0,009	0,005
Средняя квадратическая ошибка	0,014	0,007
Максимальная ошибка	0,114	0,081

Увеличение плотности расположения связующих линий послужило причиной более точной оценки результатов уравнивания. Связующие линии с ошибками, близкими к максимальной, оказались расположенными в северной части участка, в местах разворотов на стыке проездов. То есть в местах разворотов наблюдается резкое падение точности, и поэтому единственным решением повышения точности построения ЦМП дорожного покрытия на участках с разворотами является удаление им принадлежащих ТЛО.

Выполнив удаление ТЛО, соответствующих резким поворотам, было выполнено повторное уравнивание данных МЛС (табл. 4).

Таблица 4

Относительная оценка точности данных МЛС
с увеличенной плотностью размещения связующих линий
после удаления ТЛО, полученных во время резких поворотов

	Связующие линии, Z	
	до уравнивания, м	после уравнивания, м
Средняя ошибка	0,006	0,005
Средняя квадратическая ошибка	0,009	0,007
Максимальная ошибка	0,057	0,029

Для демонстрации влияния результатов уравнивания данных МЛС после удаления точек резких поворотов и без их удаления была выполнена автоматическая классификация двух наборов ТЛО, в результате которой определялись точки, принадлежащие поверхности асфальта. По ТЛО от асфальта выполнялось построение ЦМП (рис. 4). На ЦМП, построенной по всем ТЛО от асфальтового покрытия, отчетливо читаются ошибочные места с резким изменением уклона.

Чтобы дополнительно оценить влияние резких поворотов на точность уравнивания данных МЛС в пределах дорожного покрытия были размещены контрольные точки по сетке с шагом 8 м. Отдельно оценивалась точность уравнивания для южной и северной, с поворотами, части участка. На рис. 3 контрольные точки, принадлежащие южному участку, показаны черным цветом, а точки, принадлежащие северному – желтым. Относительная оценка точности после уравнивания по контрольным точкам приведена в табл. 5

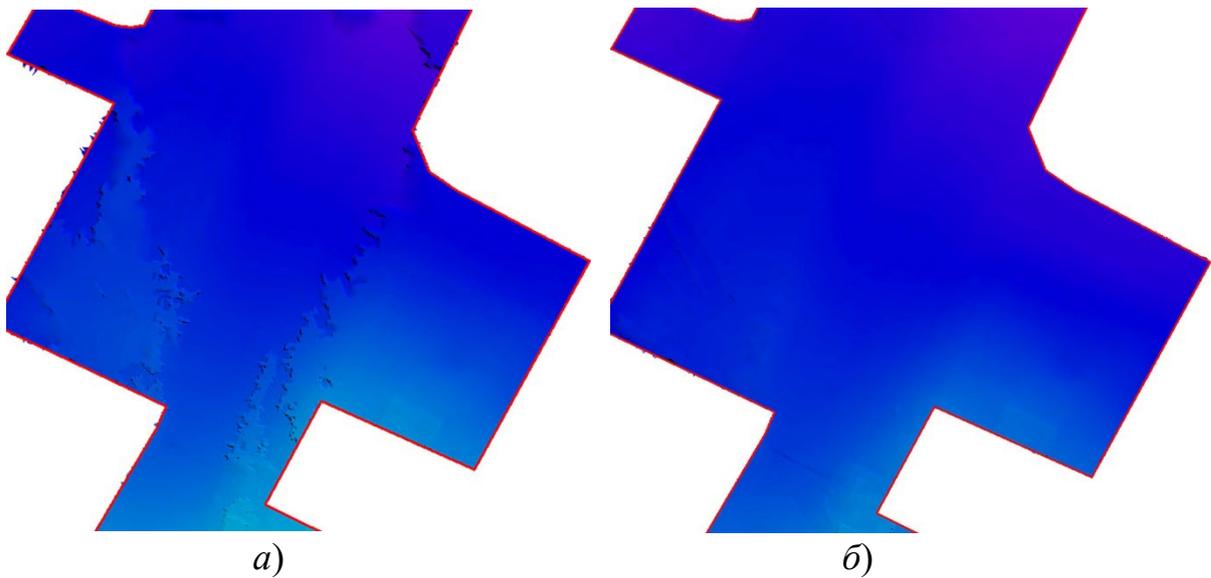


Рис. 4. ЦМП асфальтового покрытия:

а) все ТЛО от асфальтового покрытия; б) ТЛО, полученные без резких поворотов

Таблица 5

Относительная оценка точности уравнивания данных МЛС с

	Контрольные точки, Z		
	южная часть, м	северная часть с ТЛО, полученных во время резких поворотов, м	северная часть без ТЛО, полученных во время резких поворотов, м
Средняя ошибка	0,002	0,024	0,005
Средняя квадратическая ошибка	0,002	0,038	0,006
Максимальная ошибка	0,010	0,079	0,028

Выполнив анализ результатов уравнивания, можно сделать вывод, что для точного построения ЦМП дорожного покрытия до начала процесса уравнивания необходимо осуществлять удаление ТЛО, полученных во время поворотов, когда наблюдается резкое снижение точности. Также необходимо учитывать, что чем большее число проездов по одному участку было выполнено, тем более высокой будет плотность массива ТЛО. Более плотный массив ТЛО позволяет выявить большее число дефектов, но каждый новый проезд вносит новые ошибки уравнивания, сильно влияющие на возможность выявления дефектов. Например, рис. 5 показывает, что второй проезд увеличивает толщину поверхности асфальтового покрытия, что можно принять за дополнительную шумовую составляющую. Поэтому можно сделать вывод, что для выявления дефектов дорожного полотна с высокой точностью предпочтительнее использовать один проезд, а повышение плотности данных можно добиться путем снижения скорости движения системы МЛС.

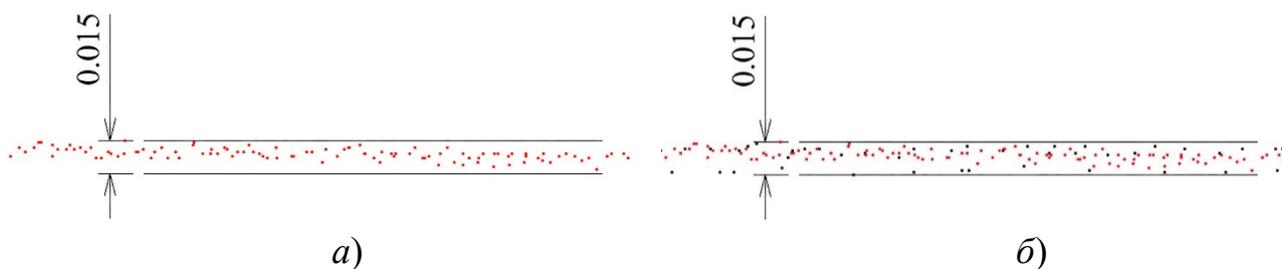


Рис. 5. Сечение массива ТЛО от асфальтового покрытия глубиной 5 см:

а) один проезд; *б)* два проезда

На точность построения ЦМП дорожного покрытия также влияет то, что лазерное сканирование выполняется с помощью двух одновременно работающих 2D сканеров, входящих в состав системы МЛС Riegl VMX-250. В этом случае для того чтобы не было двоения массива ТЛО в процессе калибровки требуется с высокой точностью определять элементы взаимного ориентирования сканеров. На рис. 6 показано сравнение сечения массива ТЛО, полученного с одного и двух сканеров.

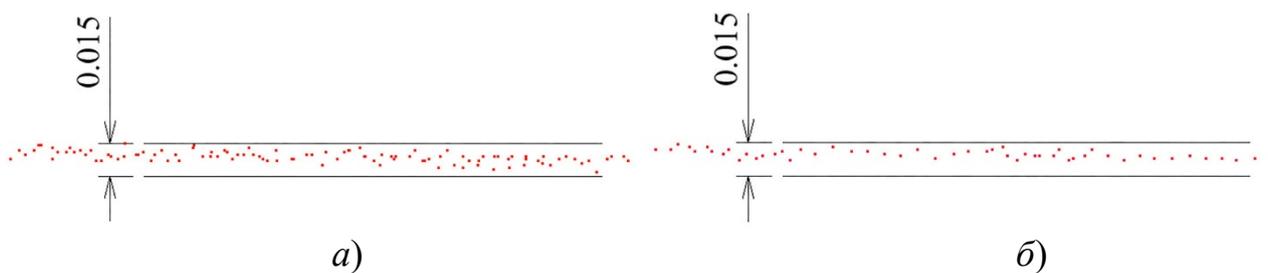


Рис. 6. Сечение массива ТЛО от асфальтового покрытия глубиной 5 см:

а) один проезд, два сканера; *б)* два проезда, один сканер

В зависимости от необходимой точности построения ЦМП и задач, которые предполагается по ней решать, к массиву ТЛО часто требуется применять фильтрацию данных: операции сглаживания, помогающие снизить уровень шума, который у различных съемочных систем может существенно отличаться. Также операции сглаживания помогают снизить значения небольших ошибок уравнивания данных МЛС нескольких проездов. Применяя операции сглаживания, необходимо правильно задавать их пределы. Например, сглаживание в пределах 1 см может убрать шум, удалить только незначительные неровности, в то время как сглаживание в несколько сантиметров с большой долей вероятности не позволит определить дефекты дорожного полотна. Пример сглаживания в пределах 2 см показан на рис. 7. В пределах сечения были сглажены все существующие неровности дорожного полотна и шумы.

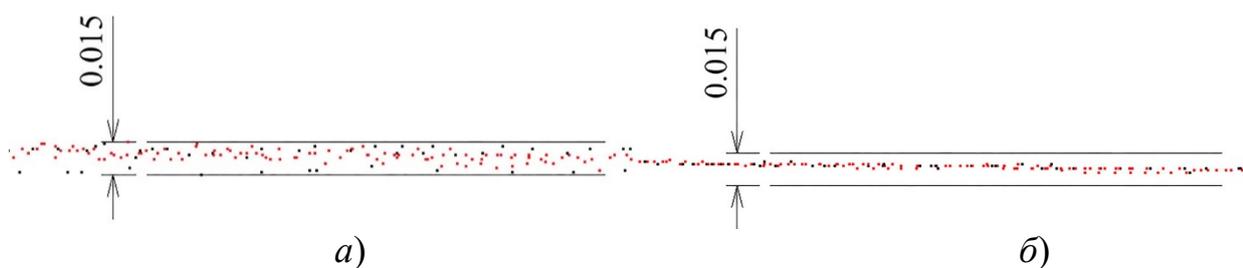


Рис. 7. Пример сглаживания массива ТЛО в пределах 2 см
 а) исходное ТЛО; б) сглаженное ТЛО

На последнем этапе, после уравнивания и сглаживания данных МЛС, могут остаться некоторые отдельные ошибочные ТЛО, расположенные ниже основной массы точек асфальтового покрытия. Для удаления таких ошибочных ТЛО следует применить специальный алгоритм классификации, суть которого заключается в том, что выполняется поиск группы точек, находящейся ниже, чем другие соседние точки в пределах заданного радиуса [20]. На рис. 8 приведен пример построения ЦМП до и после удаления ошибочных ТЛО. Выполнялся поиск групп ошибочных точек в количестве не более 6, расположенных ниже остальных как минимум на 1 см в пределах радиуса, равного 20 см.

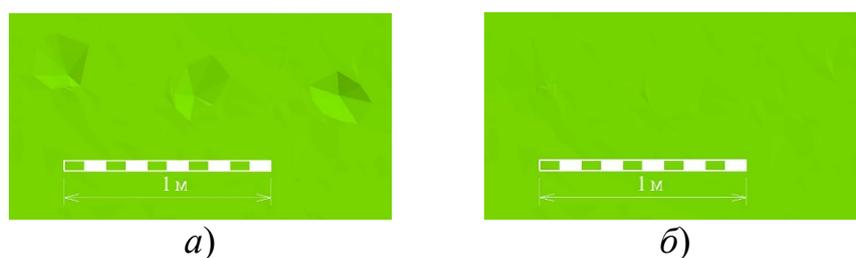


Рис. 8. Пример удаления ошибочных ТЛО от асфальта
 а) до удаления; б) после удаления

Таким образом, были уравнены, классифицированы и отфильтрованы данные МЛС на территорию автодороги Талакан–Витим с целью построения ЦМП ее асфальтового покрытия. Было показано, как различная точность уравнивания влияет на результаты построения ЦМП, а также то, какое влияние оказывает фильтрация и классификация данных, выполняемые с целью удаления шумов и ошибочных ТЛО.

Заключение

МЛС позволяет решать большое число практических измерительных задач на местности. Построение ЦМП автомобильных дорог с целью определения характеристик дорожного полотна и его дефектов является одной из прикладных задач МЛС. Решение этой задачи требует повышенной точности пред-

варительной обработки данных МЛС, включающей калибровку оборудования, уравнивание данных, их классификацию и фильтрацию. Необходимость обеспечения повышенной точности предполагает разработку новых методик обработки данных, возможность осуществления которых определяется техническими характеристиками определенной съемочной системы, параметрами сканирования, скоростью передвижения и характером местности. Учет всех перечисленных факторов позволяет разработать комплексную методику предварительной обработки данных МЛС с максимально возможной степенью автоматизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32825–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. Межгосударственный стандарт. – Введ. 2015-07-01. – М. : Стандартинформ, 2015. – 14 с.
2. Altyntsev M. A. Automated Recognition of Roadbed Deformations (defects) Using Laser Scanning Data // International Worksop "Integration of Point- and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects". – April, 2014. – Novosibirsk: SSGA. – P. 147–151.
3. Seredovich V. A. Altyntsev M. A. The Feasibility Study of Automatic Extraction of Cracks in the Roadbed from Mobile Laser Scanning Data // XXV FIG Congress. – June, 2014. – Malaysia, Kuala Lumpur.
4. Целых Д. С., Привалов О. О. Устройства для анализа и оценки состояния дорожного покрытия // Технические науки: теория и практика : материалы I Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). – Чита : Издательство Молодой ученый. – 2012. – С. 74–78.
5. Алтынцев М. А., Иптышева М. А. Совместная обработка данных мобильного лазерного сканирования и цифровой наземной фотосъемки для построения единого массива точек // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 87–95.
6. Алтынцев М. А., Макаров А. М. Проблемы автоматизированного определения характерных линий автомобильных дорог по данным лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 96–104.
7. Середович В. А., Алтынцев М. А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 96–100.
8. Деговцев А. А. Технология мобильного лазерного сканирования для выполнения проектно-изыскательских работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 140–144.
9. Середович В. А., Попов Р. А., Алтынцев М. А. Выявление изменений в инфраструктуре города по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 156–160.
10. Алтынцев М. А. Автоматизированное определение характерных линий автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016.

XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 109–117.

11. Шануров Г. А., Половнев О. В., Манилова А. Д. Способ обработки результатов топографической съемки, выполненной с использованием мобильного сканирующего комплекса // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2016. – №3. – С. 42–47.

12. Середович В. А., Алтынцев М. А., Егоров А. К. Определение индекса ровности дорожного покрытия по данным мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2017. – №3 (22). – С. 33–44.

13. Манилова А. Д. Геодезическое обеспечение топографической съемки, выполняемой с использованием мобильного сканирующего комплекса // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2017. – №3. – С. 54–57.

14. Сарычев Д. С. Обработка данных лазерного сканирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. – №1(2), 2014. – С. 16–19.

15. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и снимаемой территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 142–149.

16. Середович В. А., Алтынцев М. А., Анцифиров Е. С. Исследование точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 90–95.

17. Алтынцев М. А., Каркокли Хамид Маджид Сабер. Особенности предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 239–248.

18. Сайт компании «Riegl». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.riegl.ru/Mobilnye-lazernye-skanery/lazernaja-skanirujuschaja-sistema-riegl-vmx-450.html>.

19. Высокоточная съемка архитектурных памятников Венеции лазерной системой Riegl VMX-250 / Штудницка Н., Зах Г., Амон Ф., Пфеннигбауэр М. // Вестник СГГА. – 2015. – Вып. 2 (15). – С. 16–29.

20. Сайт компании «TerraSolid». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.terrasolid.com/home.php>.

© М. А. Алтынцев, Каркокли Хамид Маджид Сабер, 2020