На правах рукописи

ЖИГАЛОВ КИРИЛЛ ЮРЬЕВИЧ

ВЕКТОРИЗАЦИЯ И КОНВЕРТАЦИЯ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИИ В ГИС-ТЕХНОЛОГИЯХ

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена на кафедре Вычислительной техники и автоматизированной обработки аэрокосмической информации Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Журкин Игорь Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Троицкий Владимир Иванович
кандидат технических наук,
Никишин Александр Николаевич

Ведущая организация: Сибирская Государственная Геодезическая Академия (СГГА)

Защита состоится «25» декабря 2007 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д.212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва К-64, Гороховский пер. д. 4, МИИГАиК, ауд. Зал заседаний Ученого Совета

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК

Автореферат разослан «23» ноября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Климков Ю.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время метод получения данных посредством лазерной локации (ЛЛ) приобретает все большее распространение в геодезии. К сожалению, в нашей стране проблематикой векторизации данных лазерной локации и ее применения в ГИС практически не занимаются. Существующие работы носят дискретный характер и рассматривают обработку данных в узком приложении. В геодезических целях используется два типа лазерных сканирующих систем:

- лазерный локатор наземного базирования;
- лазерный локатор воздушного базирования.

Наземный ЛЛ позволяет получить высокоточную (с координатами каждой точки до 0.1 мм) информацию о сравнительно небольших (в применении к картографии) объектах, например, фрагменты фасадов зданий, комплекс рядом расположенных строений, цеха и т. д. Для съемок площадных объектов (от 2 км и более) применение такой системы экономически не обосновано.

Воздушный лазерный локатор позволяет получать информацию средней точности (с координатами каждой точки до 30 см) по площадным объектам, например, ЛЭП, город, район и т. д.

До настоящего момента информация воздушной и наземной сканирующих систем обрабатывалась отдельно и применялась для решения узкого круга задач. Это связано с:

- трудоемкостью обработки данных;
- отсутствием единого формата данных;
- отсутствием единой методики векторизации;
- отсутствием технологии интеграции данных лазерной локации в ГИС.

Наиболее сложным и трудоемким этапом интеграции данных ЛЛ в ГИС является обработка съемочных данных. Данные лазерной локации представляют собой набор − облако точек, расположенных в пространстве и несущих в основном пространственную информацию о снимаемом объекте.

Следует отметить, что в получаемом облаке точек содержится, как правило, довольно значительное число точек, относящихся либо к шумовой составляющей, либо к избыточным точкам, что существенно усложняет процесс автоматизации обработки данных ЛЛ. Кроме того, при сканировании сложных объектов или сцен возникает необходимость проводить съемку при различном пространственном расположении лазерного локатора. В связи с чем возникает необходимость последующей «сшивки» данных в единое облако точек. На этапе сшивки можно интегрировать данные воздушного и наземного лазерных локаторов, что позволит добиться повышения точности на необходимых участках местности при ее дальнейшем использовании в ГИС.

Исходя из вышесказанного, векторизацию данных рекомендуется разбить на несколько этапов, описанных ниже.

Сшивка облаков точек лазерной локации может осуществляться по измеренным координатам опорных точек или по координатам связующих точек на облаках, полученных с разных точек стояния. Во втором случае предполагается наличие зоны перекрытия между сканами.

Процедуру прореживания точек можно разделить на следующие задачи:

- определение геометрической принадлежности точек одной и той же поверхности (например, плоскости);
- определение избыточной плотности;
- определение точек отражения от зеркальных поверхностей.

Наиболее сложной и востребованной является задача автоматизированной классификации облаков точек. Классификация позволяет разделить единое облако точек на слои, что в дальнейшем позволяет производить про-

цедуру векторизации объектов с наименьшим количеством трудозатрат. Кроме того, предложенный метод интеграции данных лазерной локации подразумевает послойное интегрирование 3d-моделей в ГИС.

Векторизация отдельных объектов (за исключением поверхности земли и растительности) осуществляется вручную за счет выделения опорных точек и построения «скелета» модели. При необходимости реалистичной визуализации модели в процессе сканирования производится дополнительное фотографирование объекта. Далее фотографии обрабатываются в графическом редакторе для получения текстур. Текстуры позиционируются на объекте по взаимно установленным опорным точкам.

Полученный таким образом трехмерный (3d) объект, как правило, находится в местной системе координат. При использовании модели в ГИС следует ее привести в систему координат ГИС (например, географическую). Эта задача может быть выполнена следующими способами: измерением координат реального объекта с помощью GPS-приемника или тахеометра и дальнейшим пересчетом координатной системы модели; расстановкой взаимных точек на плане / карте в ГИС и на модели, за счет чего осуществляется пересчет системы координат модели в автоматическом режиме.

Для контроля точности производится проверка метрических параметров модели, интегрированной в ГИС. Проверка производится путем выборочного контроля координат опорных точек модели с фактическими измерениями.

Цель и задачи работы. Разработка методики векторизации и конвертации данных лазерной локации для целей использования пространственных данных при выполнении картографирования различных объектов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: разработан алгоритм прореживания данных лазерной локации; разработан алгоритм совместной обработки данных воздушной и наземной лазерной локации; разработаны и исследованы алгоритмы автоматической классификации

точек лазерной локации; исследованы основные форматы хранения, обработки и передачи 3d-данных, разработана методика интеграции 3d-объектов и 2d-векторных карт; выполнена апробация предложенных методик на реальных объектах, оценка точности создания синтезированных изображений.

Научная новизна. Проведен анализ программного обеспечения, поставляемого со сканирующими системами, с целью выявления основных функциональных возможностей и получаемых форматов данных. Проведен анализ программного обеспечения ГИС с целью выявления вопросов поддержки отображения и обработки 3d-моделей, а также используемых форматов данных. Путем анализа используемых форматов данных выработаны общие параметры, позволяющие проводить конвертацию между основными форматами хранения, обработки и передачи данных. В алгоритм конвертирования внедрен метод контроля сохранности метрических параметров 3d-моделей.

Разработана методика, позволяющая совместно использовать данные воздушного и наземного лазерного сканирования для получения уточненных трехмерных планов, моделей местности и т. д.

Разработан алгоритм фильтрации облака точек, позволяющий значительно сократить шумовую составляющую в необработанных данных лазерной локации.

Разработана методика векторизации данных лазерной локации, состоящая из: фильтрации облака точек, автоматической классификации данных по классам, векторизации отдельных 3d-объектов.

Выполнены экспериментальные исследования разработанной методики векторизации данных лазерного сканирования и проанализированы результаты ее практического применения.

Практическое значение работы. Разработанная технология позволяет оптимизировать процесс векторизации и интеграции в ГИС данных наземного и воздушного лазерного сканирования. Разработанные алгоритмы автоматической классификации точек позволяют значительно сократить трудозатраты на классификацию. Проведенные исследования форматов хранения 3d-данных позволили использовать созданную 3d-модель в различных ГИС.

Разработанная компьютерная программа имеет следующее практическое значение: фильтрация облака точек лазерной локации; классификация облака точек ЛЛ; построение триангуляционной (TIN) модели поверхности по классу «земля»; векторизация отдельных 3d-объектов; приведение 3d-моделей и сцен в необходимую для дальнейшего использования систему координат.

Защищаемая методика, алгоритмы и сопутствующее программное обеспечение внедрены в практическое использование в ООО НПФ «Талка-ТДВ» а так же на кафедре ВТиАОАИ Московского Государственного Университета Геодезии и Картографии (МИИГАиК). Разработанные алгоритмы легли в основу ядра программного комплекса GIS Studio, разрабатываемого ООО НПФ «Талка-ТДВ», на момент написания автореферата программа находилась на стадии финального тестирования в производственных условиях.

Апробирование работы. Результаты работы докладывались на международном промышленном форуме “GEOFORM+” в 2005 и в 2006 годах; на научном конгрессе «ГЕО-Сибирь» (направление «Геодезия, картография, маркшейдерия») в 2005г. в Новосибирске; на конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых в МИИГАиК в 2005, 2006 и 2007 гг.; на всероссийской выставке научно-технического творчества молодежи «НТТМ-2005» и «НТТМ-2006» в Москве; на X международной научно-практической конференции «Методы дистанционного зондирования и ГИС-технологий для

оценки состояния окружающей среды, инвентаризации земель и объектов недвижимости» в Китае в 2006 году; на международной конференции INTERGEO-2006 в Германии.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 работ, 1 – в журнале, включенном в перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация написана на русском языке, включает 117 страниц текста, содержит 19 рисунков, 6 таблиц и 3 диаграммы, 2 схемы; состоит из введения, трех разделов, заключения, 3 приложений и библиографии из 93 наименований, в том числе 53 зарубежных.

Содержание работы. Лазерная локация − это технология, позволяющая получить высокоточные данные об объекте или местности путем проведения многочисленных измерений пространственных координат, соответствующих объекту. В основе технологии лежит использование новых геодезических приборов — лазерных сканеров. Однако существующая технология позволяет лишь собирать огромное количество данных о снимаемых объектах, а не получать готовую к использованию в ГИС модель объекта. Задачу использования 3d-моделей конечному пользователю сильно усложняет факт отсутствия единых форматов хранения и передачи данных между программным обеспечением различных производителей.

В связи с изложенным выше, можно выделить две основные задачи исследования: векторизация облаков точек; конвертация готовых 3d-моделей между форматами программных продуктов ГИС.

До настоящего времени данные воздушного и наземного лазерных сканеров обрабатываются раздельно. Следует отметить, что на данный момент не существует технологии векторизации облаков точек наземного лазерного сканирования с целью дальнейшего использования в ГИС объекта целиком.

Обработка данных преимущественно сводится к получению дискретных значений или планов объектов.

Воздушное лазерное сканирование в основном используется для целей картографирования больших районов местности. Точность данных, получаемых воздушным лазерным локатором, недостаточна для высокоточного моделирования отдельно стоящих объектов (например, зданий, заборов, воздушных газопроводов и т. д.). Автором предложено комбинирование сканирующих систем при возникновении такой необходимости. В этом случае данные воздушного и наземного локаторов проходят процедуру сшивки в единое облако точек. Следует отметить, что из всех возможных методов сшивки в данном случае наиболее целесообразно производить сшивку по координатам. В этом случае исключается вероятность внесения ошибок в координаты отдельных объектов. Далее данные обрабатываются как совместное единое облако точек, что значительно сокращает время векторизации.

Обобщенно цикл обработки облаков точек включает в себя следующие этапы:

- ⊡ сшивка облаков точек в единый фрагмент;
- ⊡ прореживание облака точек;
- ⊡ классификация облака точек;
- ⊡ 3d-векторизация объектов;
- ⊡ приведение полученных 3d-объектов в картографическую систему координат (при необходимости);
- ⊡ проверка точности интегрирования векторизации 3d-объектов (сцены).

Сшивка представляет собой уравнивание сканов, или данных сканирования с разных станций, в единую систему координат. Возможно использование нескольких методов сшивки облаков точек:

- Сшивка по специальным плоским маркам-отражателям (прикрепляются на объекте таким образом, чтобы получилось не меньше 3 меток на сосед-

них между собой сканах. Далее, во время проведения сканирования, на каждой из точек стояния эти метки сканируются дополнительными проходами с максимально возможной точностью). Марки бывают сферические и плоские. Кроме того, обычно их изготавливают на магнитной или картонной основе.

- Сшивка по характерным точкам (не требует на полевом этапе использования марок). Во время процесса сканирования оператор выбирает хорошо различимые точки (углы, оконечности объектов, состыковки разных материалов) и проводит сканирование данных фрагментов с увеличенной точностью. Обычно используется от 6 до 10 точек на каждую сшивку. Данный вид сшивки менее точен по сравнению с видом сшивки, описанным выше, и в основном используется при затруднениях с размещением марок.

- Автоматическая подгонка (программный способ сшивки, когда итерационный алгоритм смещает один скан относительно другого и находит оптимальное положение по минимальному расстоянию между точками одного скана от точек другого).

- Геопривязка (позволяет привязать каждый скан или все измерения в заданную систему координат.) При этом виде сшивки необходимо параллельное выполнение измерений с помощью более высокоточных приборов (например, электронного тахеометра). Такой вид сшивки сильно увеличивает время сканирования в полевых условиях.

Сшивка по специальным плоским маркам-отражателям дает большую точность сшивки, а также уменьшает время камеральных работ. При совместном сшивании воздушного и наземного лазерного сканирования возможно использовать сшивку по характерным точкам (в этом случае точность привязки отдельных 3d-объектов падает до точности лазерного сканирования), а также геопривязку (в этом случае точность позиционирования сравнима с точностью наземной лазерной локации).

Фильтрация. Как говорилось выше, облако точек, полученное с помощью лазерного сканера, содержит довольно большое количество избыточной или ошибочной информации (см. рис. 1). К сожалению, ни одна из существующих в данный момент программ, поставляемых со сканером, не позволяет оптимизировать эти данные в автоматическом режиме.

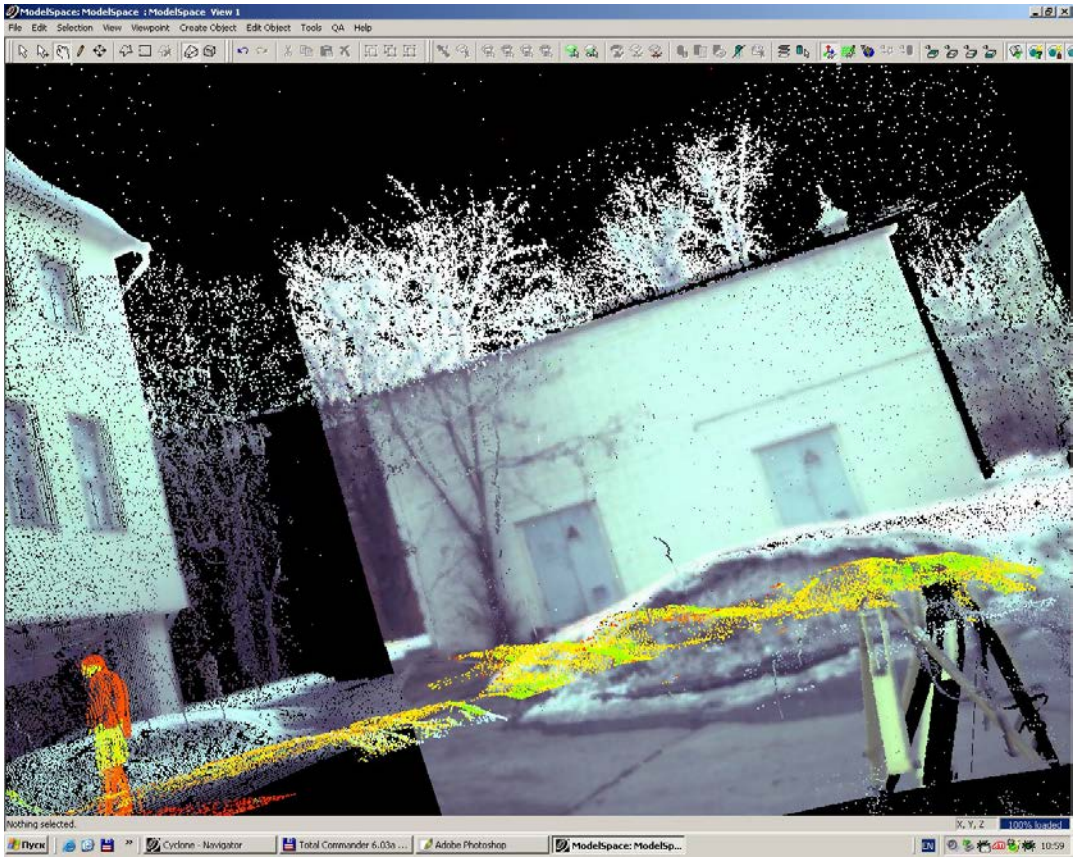

Рис. 1. Пример исходного облака точек с шумовой составляющей.

Для частичного решения этой проблемы автором предложен программный модуль по оптимизации облака точек. Программный модуль написан на языке Delphi. Данная программа позволяет:

- убирать точки, попавшие на перекрытия сканов по завершении процедуры сшивки облака точек. Другими словами, понижает плотность, убирая повторные точки в облаке;
- убирать шумовые «вылетевшие» точки путем вычисления превышения точек (например, при сканировании с точностью 5 см убираются все

точки, в радиусе 5,5 см от которых отсутствуют другие точки лазерной локации);

- прореживать точки, принадлежащие одному плоскостному объекту (стена, потолок и т. д.).

В результате (при различных вариантах работы программы) убирается от 5 до 30% точек, что существенно снижает ресурсы, требуемые для обработки данного облака точек в дальнейшем. Облако точек по завершении процедуры прореживания изображено на рисунке 2.

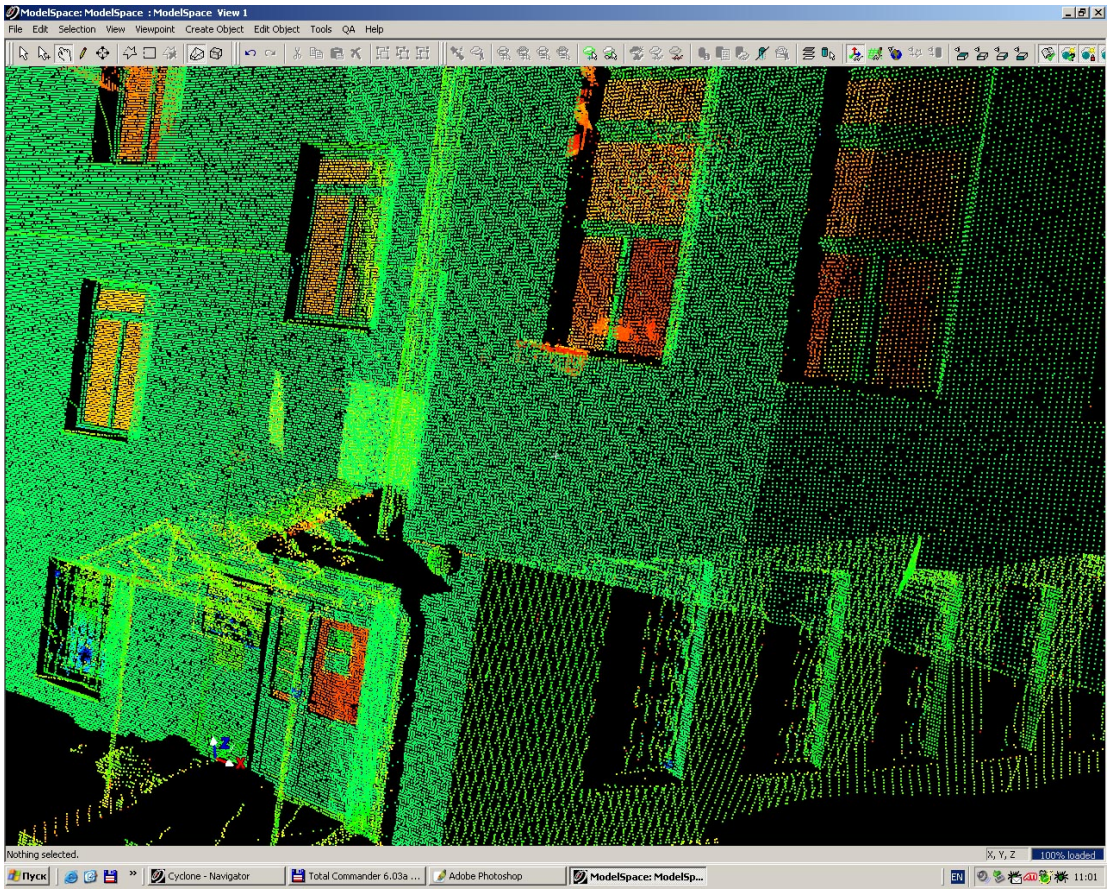

Рис. 2. Пример прореженного облака точек.

Текст программного модуля прореживания облака точек приведен в приложении 3 к кандидатской диссертации. Следует отметить, что при совместном использовании наземного и воздушного лазерного сканирования процедуру прореживания облака точек целесообразно проводить отдельно

для каждой сканирующей системы и только потом сшивать данные в единое облако точек.

Процедура классификации точек имеет важное значение в векторизации, т. к. она позволяет значительно экономить время обработки данных. Первоначально данные лазерного сканирования находятся в неклассифицированном состоянии. Целесообразно проводить классификацию облака точек в 2 основных этапа:

- Выделение точек земли.
- Классификация других объектов (растительность, дороги, ЛЭП и т. д.).

Первым шагом при выполнении задачи классификации точек лазерной локации является сегментация всего облака на множество прямых. Две точки рассматриваются как принадлежащие к профилю земли, если между соседними сегментами нет острых углов (обычно более 50 градусов), а также под этими сегментами отсутствуют смежные сегменты. Такое определение профиля земли позволяет вылавливать резкие изменения по поверхности (перепады высот) между соединенными точками и смежными с ними линиями. Исходя из выше изложенного, мосты, кусты дороги и т. д. могут быть классифицированы как поверхность земли, если перепад высоты будет укладываться в погрешность сканирующей системы. Таким образом, работу алгоритма можно увидеть на рисунке 4.

Jiang и Bunke (1994) впервые описали алгоритм сегментации точек по линии сканирования. Их алгоритм предлагал рассматривать каждую линию сканирования по отдельности. Данные расстояний между точками сегментируются таким образом, чтобы превышения между пикселями одного сегмента описывались линейной функцией. Когда все отрезки сегментированы, сегменты группируют по линиям, опираясь на критерии приближения (критерии были подобраны экспериментальным путем для каждого типа поверхностей, обычно изменяются от 0.5 до 1). Алгоритмы определения поверхности в первую очередь выбирают начальную поверхность с помощью опреде-

ления превышения точек, отстоящих на некотором расстоянии от определяемой точки, и определения, может ли она аппроксимироваться на поверхность земли. Таким образом отсеиваются точки, находящиеся даже на небольшом расстоянии от поверхности земли по перпендикуляру.

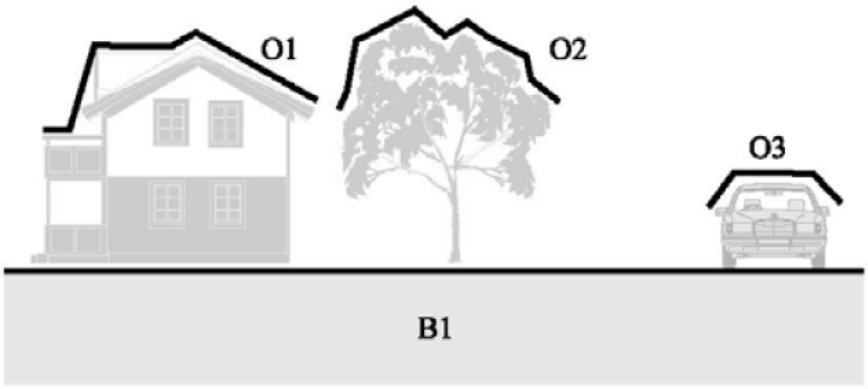

Рис. 3. *Пример сегментов, относящихся к различным объектам.*

Предложенная в 1994 году методика хорошо справлялась на классификации простых объектов (например, отделение мостов, строений), но существовали случаи ошибок на более сложных участках (отделение кустов и т. д.) См. рис. 4 (a). В 1996 году другая группа ученых попробовала усовершенствовать данный алгоритм путем использования точек на параллельных линиях сканирования (см. рис. 4 (b)).

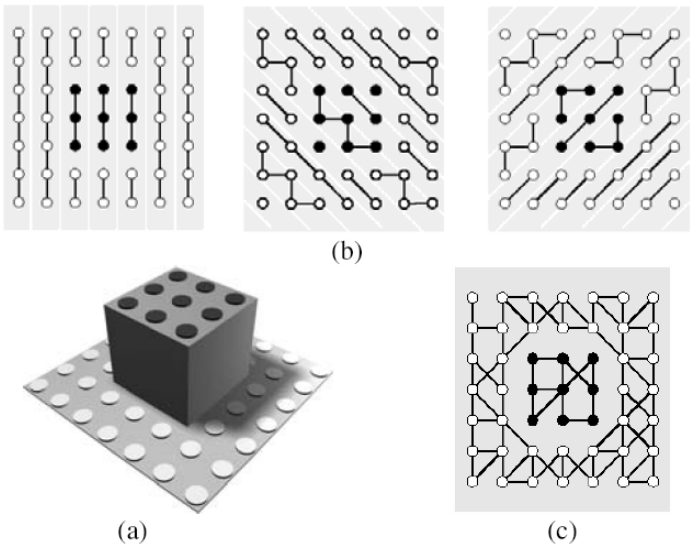

Рис 4. *Ландшафт (а). Сегментирование облака точек в различных направлениях для получения профилей местности (в). Перекрытие профилей для получения рассоединенных графов (с).*

Сегментация профилей проводится следующим образом:

- Соединяются все точки профилирующими линиями (рис. 5(a)) .
- Из профилей убираются точки с превышением на много выше окружающих (рис. 5 (b)).

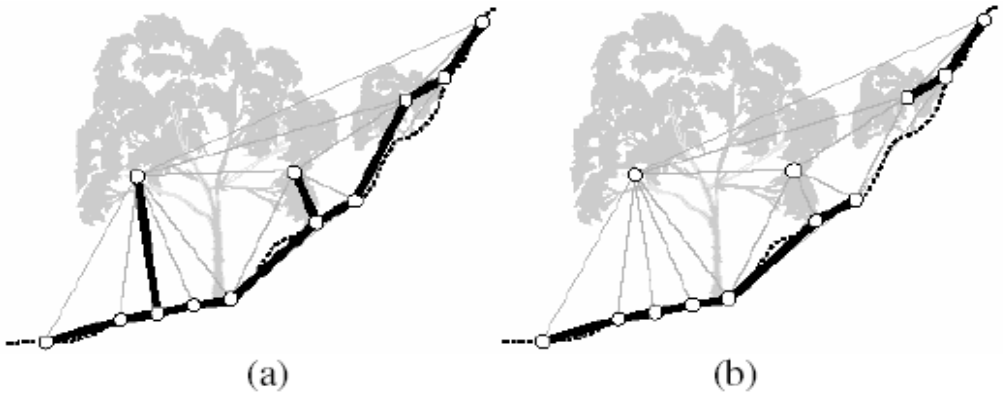

Рис. 5*. Пример автоматической классификации точек методом линейного вычисления превышений.*

Превышение точки (W) можно рассчитать на компьютере используя следующую формулу:

$$w = (x_j - x_i)^2 + k(z_j - z_i)^2$$

В данном случае (x_i, z_i) и (x_j, z_j) являются профильными координатами оконечных точек I и J на отрезке. Параметр К(>1) задается пользователем и является шкалой функции приближения координат X и Z на заданном отрезке.

Как мы видим на рисунке 5 (b), в таком алгоритме существуют ошибки при определении точек земли. Автором предложена модифицированная методика классификации точек, позволяющая сократить количество таких

ошибок в несколько раз. Данная методика будет рассматривать отрезки между точками во всех направлениях, создавая таким образом перекрытия – рассоединенные графы (см. рис. 4 (с)). При таком методе классификации нет необходимости в параметре (К).

Контроль классификации. По завершении автоматической классификации точек земли целесообразно провести визуальный контроль. Для этого производится построение TIN-модели и раскраска ее по высоте. В таком случае даже небольшие отклонения модели в связи с неправильной классификацией заметны при просмотре. После чего производится переклассификация отдельных точек (при необходимости).

Рассмотрим более подробно алгоритмы автоматической классификации зданий, кустов и деревьев. По завершении процедуры классификации точек земли данные точки заменяются на ЦМР. Это упрощает процесс вычисления превышений точек над поверхностью земли и сокращает количество точек, рассматриваемых компьютером. В первую очередь отфильтровываются незначительные с точки зрения картографирования точки – это точки, превышение которых не более 40 см над поверхностью земли. Как правило, это точки травы, мусора и т. д. Примем за основу, что интересующие нас строения и деревья имеют высоту более 2-х метров. Все точки, лежащие ниже данной высоты, на время убираются из рассматриваемого облака точек, что позволяет значительно сократить временные затраты по классификации.

Проведенные исследования показали, что линейные превышения точек, попавших на деревья, изменяются на всем промежутке сегментального фрагмента. В то время как превышение точек, относящихся к строениям, можно описать линейными выражениями.

TIN-модель поверхности может быть передана в ГИС уже на этом этапе. Точки растительности заменяются на заранее подобранные 3d-модели со

сравнимыми параметрами (высота, площадь, тип растений) и передаются в ГИС. Строения и сооружения подвергаются процедуре векторизации.

3d-векторизация объектов и строений на данный момент времени выполняется вручную, что занимает довольно большое количество времени. Перед обработкой облако точек, относящееся к объекту, делится на части: стены, пол, потолок и более сложные конструкции (например, барельефы), передается в таком виде в программу 3d Studio Max, где заново обрисовывается по контурам (векторизуется) и сшивается в одну модель. Точное соответствие элементов системе координат позволяет получить точное расположение объектов. В результате получаем «остов», который в большинстве случаев будет выглядеть как набор плоскостей и линий. В таком варианте непосвященному человеку все еще довольно сложно разобраться, что к чему (см. рис. 6).

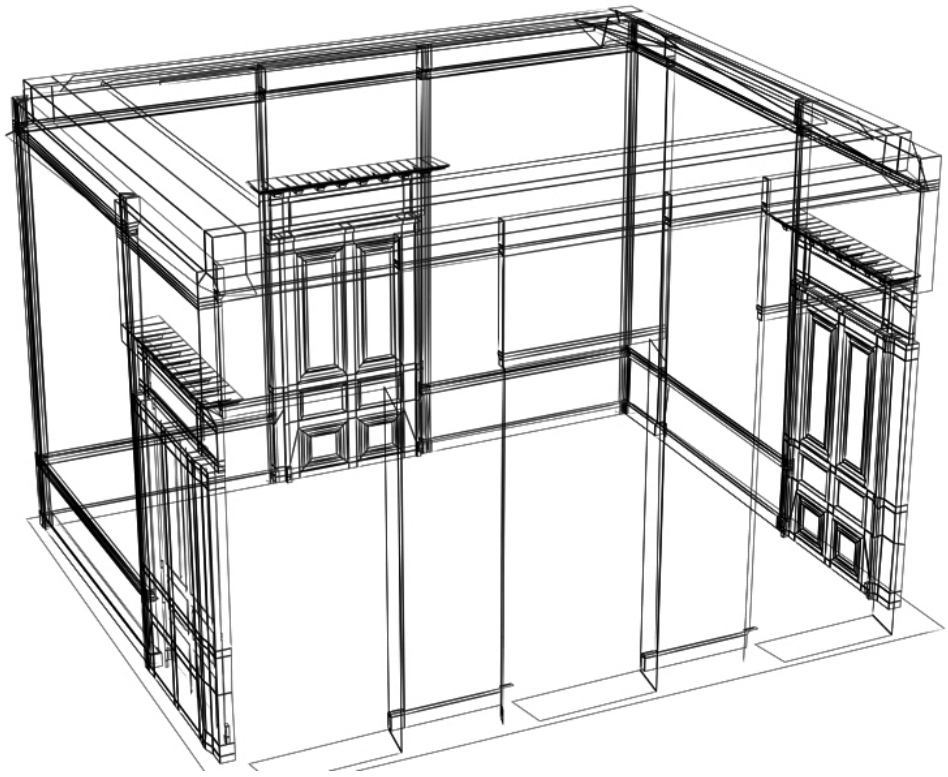

Рис. 6. *Остов комнаты, содержит только плоскости и основные линии перегиба.*

В связи с чем далее выполняется визуализация. Для этого на данный остов «натягиваются» необходимые текстуры. Текстуры изготавливаются с помощью цифрового фотоаппарата и программного продукта Photoshop (или любого другого графического редактора).

Следует отметить, что в данной методике текстуры изготавливаются на каждый фрагмент отдельно, что позволяет передать фотореалистичность с максимальной точностью и не дает искажений текстур при их монтаже на остов.

Если до этого момента данные находились в местной системе координат, то до интеграции модели в ГИС необходимо провести ее пересчет в систему координат ГИС (обычно в картографическую). Это можно сделать двумя способами:

1. с помощью сопоставления опорных точек на плане местности в ГИС опорным точкам на модели;
2. с помощью ручного назначения координат опорных точек на модели (обычно координаты получают посредством GPS-приемников или тахеометра).

Немаловажной деталью процедуры векторизации является контроль точности получаемой модели. Для контроля выполняются следующие действия:

- ⊡ в ходе векторизации точечной модели исполнителем производится текущий контроль соответствия опорных точек «скелета» модели реальным измерениям;
- ⊡ по завершении векторизации точечной модели выполняется выборочный контроль другим исполнителем;
- ⊡ для окончательного контроля точности созданной модели проводится процедура выборочного сравнения полученной цифровой модели с результатами контрольных измерений на объекте.

Конвертация. В ходе выполнения анализа форматов данных были выбраны наиболее удобные форматы, а результаты их исследования составле-

ны в таблицу 1. Кроме того, была предложена и опробована схема конвертации данных в рамках разработанного метода векторизации облака точек (см. схему 1).

Автором было проведено исследование разработанных алгоритмов классификации облаков точек и сопоставление с тремя уже используемыми в промышленном применении алгоритмами. Алгоритм автоматической классификации точек земли позволяет определить точки, относящиеся к поверхности на 98%, что значительно сокращает участие оператора в процессе классификации. Методика автоматической классификации строений и растительности позволяет определять растительность со средней точностью 96%, а строения с относительной точностью 80%. Следует отметить, что алгоритм автоматической классификации точек растительности значительно превышает по точности результат используемых в настоящее время методик. Что относится к определению строений, надо признать, точность определения оставляет желать лучшего и алгоритм следует доработать т. к. он значительно отстает от используемых в настоящее время алгоритмов.

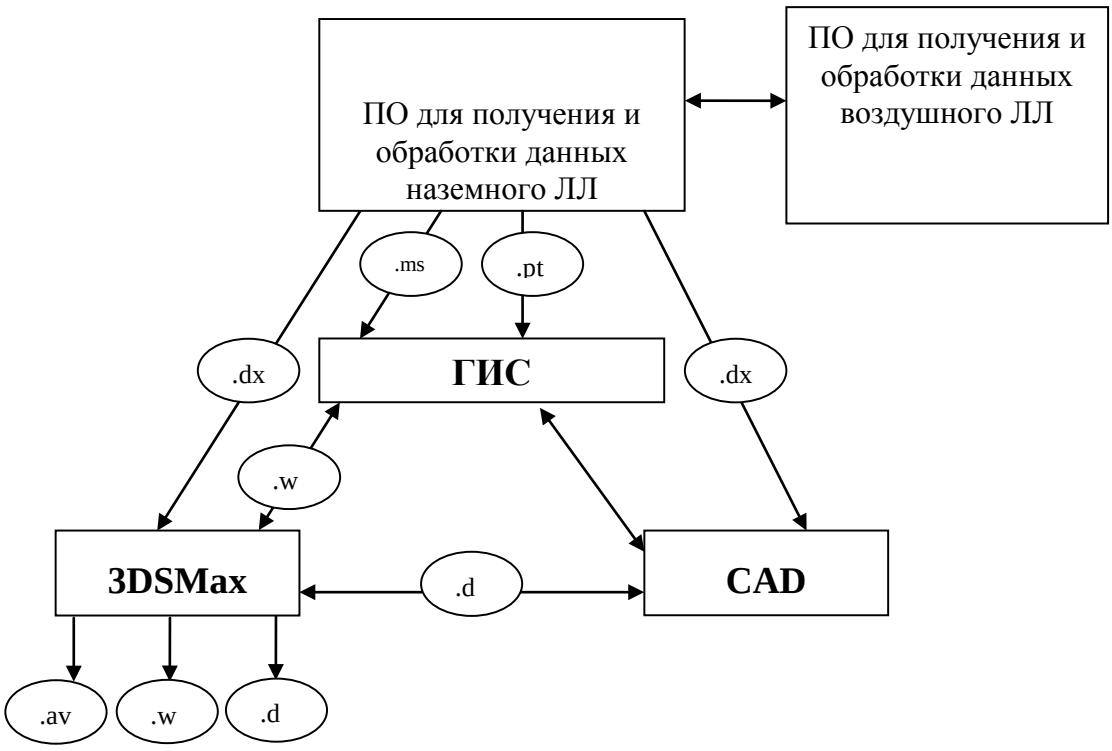

Схема 1. Перенос данных между ПО для работы с трёхмерной графикой.

Стандарт	Максимальное кол-во полигонов в модели	Возможность передачи по низкоскоростным каналам (Internet)	Соответствие модели реальному объекту	Скорость загрузки модели, сек	Поддерживается ПО	Проблемы, возникающие при конвертации разработанным конвертором
VRML 2.0	200 000	Есть	Визуальное + метрическое в опорных точках	10	Internet-браузер 3DsMax CAD-системы Leica Cyclone GisStation	Не выявлено
3ds	Неограниченно	Нет	Визуальное и метрическое	30	GisStation 3DsMax CAD-системы	Не выявлено
Dxf	20 000	Есть	Метрическое, визуальное без текстур	20	GisStation 3DsMax CAD-системы 3d GIS приложения	Смещение в координатной сетке, изменение масштаба
Msh	Неограниченно	Нет	Возможны появления «лишних» поверхностей	60	GisStation 3DsMax	Появление «лишних» поверхностей
dwg	20 000	нет	Визуальное и метрическое	20	GisStation 3DsMax CAD-системы 3d GIS приложения	Ошибки, носящие периодический характер…..

Таблица 6. Результаты исследования конвертации и форматов данных.

Заключение

В результате проведенных исследований был разработан новый метод векторизации данных, включающий в себя несколько этапов, описанных выше.

Разработан и исследован алгоритм автоматической фильтрации облаков точек от шумовой составляющей.

Разработаны и исследованы методики автоматизированной классификации облаков точек на классы «растительность» и «земля», существенно превосходящие используемые в данный момент как по производительности, так и по проценту ошибочности данных. Алгоритм определения точек, относящихся к строениям, требует дельнейшей проработки т. к. процент ошибок велик.

Автором предложено 2 конечных варианта ручной векторизации данных лазерной локации в зависимости от поставленной задачи и конечного использования модели.

Автором проведено исследование современных форматов данных и предложен модуль конвертации данных между форматами, результаты этого исследования приведены в таблице 1.

Для полноты работы автором предложена и исследована методика отображения 3d-моделей в ГИС, результаты исследования представлены в кандидатской диссертации (гл. 3.3).

В результате работ создано несколько небольших программ-модулей, написанных автором. Все программы объединены под общей оболочкой GIS Station (также написанной автором), которая предусматривает возможность подключения дополнительных модулей в будущем.

Все алгоритмы и методики были опробованы на следующих объектах:

- Архитектурная композиция «Золотые комнаты МИИГАиК»,
- 4-ая Доменная печь завода «Северсталь»,

- Воздушный газопровод завода «Северсталь»,
- Станция метро «Проспект Мира» (кольцевая, радиальная и переход),
- Скульптура «Рабочий и Колхозница» ,
- Гостиница «Космос»,
- Отдельно стоящее здание по адресу г. Москва, ул. Полянка д. 60/2,
- Храм Василия Блаженного.

Учитывая все написанное выше, можно утверждать, что работа носит законченный характер, результаты исследования нашли свое применение в создаваемом программном продукте GIS Studio, а также внедрены на кафедре ВТиАОАИ в ГИС лаборатории МИИГАиК.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Журкин И.Г., Жигалов К. Ю. Современные методы обработки данных лазерной локации в ГИС // Материалы X международной научно-практической конференции «Методы дистанционного зондирования и ГИС-технологий для оценки состояния окружающей среды, инвентаризации земель и объектов недвижимости» – Китай, 2006 – с. 6-10
2. Жигалов К.Ю., Волкович Е.В. Применение лазерных технологий для создания 3d-модели архитектурной композиции «Золотые комнаты МИИГАиК» // Сборник материалов Всероссийской выставки научно-технического творчества молодежи − Москва, 2005 − с. 115-116
3. Жигалов К.Ю., Дружинин М.Ю. Применение лазерного сканирования для сохранения памятников архитектуры (на примере скульптуры Мухиной и Храма Василия Блаженного) // Сборник докладов GEOFORM+ − Москва, 2006 – с. 96-97
4. Журкин И.Г., Волкович Е.В., Жигалов К.Ю. Обновление картографического материала с помощью данных, полученных методом лазерной локации // Журнал геодезия и картография – Москва, 2007, №5 – с. 35-37
5. Журкин И.Г., Волкович Е.В., Жигалов К.Ю. Технология обработки данных лазерной локации для получения крупномасштабных планов сложных инженерных сооружений // Материалы международного промышленного форума GEOFORM+ − Москва, 2007 – с. 20

Подписано в печать 20.11.2007. Гарнитура Таймс
Формат 60*90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Объем 1,5 усл. печ. л.
Тираж 80 экз. Заказ №281 Цена договорная

Издательство МИИГАиК
105064, Москва, Гороховский пер., 4

Отпечатано в типографии МИИГАиК