

На правах рукописи

Галахов Василий Петрович

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ВЕКТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ
ОБЪЕКТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО
СКАНИРОВАНИЯ И ЦИФРОВОЙ ФОТОСЪЕМКИ

Специальность 25.00.34 – «Аэрокосмические исследования Земли,
фотограмметрия»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена на кафедре Фотограмметрии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ» (МИИГАиК)

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор,
Чибуничев Александр Георгиевич

Официальные оппоненты: **Нехин Сергей Степанович**
доктор технических наук, старший научный
сотрудник, Центральный научно-
исследовательский институт геодезии,
аэрофотосъемки и картографии им.
Ф.Н.Красовского (ЦНИИГАиК), заведующий
отделом аэросъемки и фототопографии

Кадничанский Сергей Алексеевич
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник, Государственный
научно-исследовательский институт
авиационных систем (ГосНИИАС), ведущий
научный сотрудник

Ведущая организация: **Сибирская Государственная Геодезическая
Академия (СГГА)**

Защита состоится «25» декабря 2012 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д.212.143.01 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва К-64, Гороховский пер., д. 4, МИИГАиК, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Краснопевцев Б.В.

Общая характеристика работы

Актуальность диссертационной работы:

В настоящее время активно развивается технология наземного лазерного сканирования. Постоянно развивается как механическая часть сканирующих систем, так и программная. Дальнейший прирост точности и скорости работы сканера более не дает значительного прироста производительности технологии, включающей в себя помимо сканирования камеральную обработку данных. Для реализации всех возможных преимуществ использования лазерных сканеров необходимо совершенствование методов обработки данных, получаемых в результате сканирования.

Камеральная обработка облака точек – сложный и кропотливый процесс. Это вызвано, в первую очередь, тем, что восприятие точечной модели затруднено в силу огромной избыточности информации.

Помимо совершенствования методов обработки данных сканирования непосредственно, эффективность метода можно повысить путем комбинирования его с существующими методами. Совместная обработка цифровых фотоизображений и облака точек может значительно повысить эффективность обработки данных, так как фотоизображения гораздо ближе к естественному восприятию объекта человеком, чем облако точек, а также позволяют получать информацию об объекте в «проблемных» для сканирования местах.

В данной работе рассматривается метод совместной обработки результатов наземного лазерного сканирования и результатов цифровой фотосъемки, позволяющий автоматизировать ряд процессов и сократить время выполнения камеральной обработки.

Цель диссертационной работы:

Разработка технологии совместного использования данных наземного лазерного сканирования и цифровых фотоизображений для создания векторной модели объекта.

Основные задачи исследования:

- изучение существующих методов совместной обработки результатов сканирования и фотосъемки;
- разработка алгоритма автоматизированной привязки снимков к облаку точек;
- разработка методики векторизации объектов по облаку точек и одиночному снимку и автоматизация этого процесса.

Научная новизна работы:

В данном исследовании предложен новый метод привязки фотоизображений к облаку точек путем построения виртуального фотоизображения (квазиснимка) облака точек и использования алгоритма масштабно-инвариантного преобразования SIFT. Разработан новый метод сегментации облака точек по величине кривизны в каждой точке облака. Предложен метод автоматической векторизации облака точек по квазиснимку и реальному снимку.

Практическая значимость:

Предложенные методы могут быть использованы для выполнения производственных работ. Создано программное обеспечение, позволяющее решать следующие задачи:

- классификация точек и сегментирование облака;
- формирование квазиснимка по облаку точек;
- автоматическая векторизация по квазиснимку;

- автоматизированное определение элементов внешнего ориентирования фотоснимка;

- векторизация облака точек по одиночному фотоснимку;

- визуализация облака точек, фотоизображения и результата векторизации.

Методы исследования:

В исследовании использованы численные методы, методы фотограмметрии, методы цифровой обработки фотоизображений.

Апробация работы:

Основные положения и результаты исследования представлены на Международной научно-технической конференции «Фотограмметрия - вчера, сегодня, завтра», посвященной 85-летию кафедры фотограмметрии МИИГАиК (Москва, 21-22 октября 2010 года), на 6-й Всероссийской научно-практической конференции "Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации" (Москва, 16-17 декабря 2010 года), на XXII конгрессе международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования ISPRS (Мельбурн, 25 августа – 1 сентября 2012 года), на конференции геодезия и картография для природных ресурсов и окружающей среды (Вьетнам, Ханой, октябрь 2012 года).

Публикации:

По материалам диссертации опубликовано 3 работы на русском языке в журналах «Известия вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка» (МИИГАиК) и «Инженерные Изыскания» (ПНИИС), включенных ВАК в перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, а также одна работа на английском языке, опубликованная в сборнике статей международного конгресса ISPRS в Мельбурне в 2012 году, а также в сборнике статей конференции геодезия и

картография для природных ресурсов и окружающей среды в Ханое в 2012 году.

Структура и объем диссертации:

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованной литературы, состоящего из 78 наименований, и двух приложений. Общий объем работы составляет 116 страниц машинописного текста, включая 50 рисунков и 16 таблиц.

Краткое содержание работы

Во **введении** показана актуальность темы, сформулированы цель работы и основные результаты, отмечены научная и практическая ценность работы.

Первая глава диссертационной работы посвящена анализу существующих методов построения подробных векторных моделей архитектурных объектов. Для получения метрической информации об архитектурных объектах используются натурные обмеры, наземное лазерное сканирование и методы наземной фотограмметрии.

Для построения векторных моделей простых фасадов зданий на данный момент широко используется съемка характерных точек фасада с помощью электронного тахеометра. Построение векторной модели осуществляется путем соединения точек в среде САПР линиями и выполнения дополнительных построений по обмерам.

Довольно часто электронный тахеометр используется для определения координат опорных точек, которые затем используются для привязки фотоснимков или облаков точек.

Основной недостаток данного метода – большая зависимость конечного результата от квалификации исполнителя и практическая невозможность построения векторных моделей сложных фасадов зданий.

Фотограмметрическая обработка результатов наземной фотосъемки используется, как правило, для построения векторных моделей сложных фасадов зданий. Современные средства выполнения фотосъемки и обработки их результатов имеют гораздо меньшую стоимость, чем средства, используемые в других методах. Для выполнения измерений создаются стереопары. Измерение координат одной и той же точки, изобразившейся на двух фотоснимках, позволяет выполнить вычисление её пространственных координат. По стереопарам возможно создание векторной модели всего объекта. Часто стереопары используются для создания цифровой модели поверхности, с помощью которой выполняется ортофототрансформирование фотоснимков. Дальнейшая векторизация выполняется по ортофотопланам.

Несомненным достоинством метода является сравнительно не высокая стоимость современных цифровых фотокамер и наглядность материалов, получаемых при их обработке.

Основной причиной того, что стереофотограмметрический метод не применяется для моделирования простых объектов, несмотря на то, что он эффективнее простой съемки электронным тахеометром, являются высокие требования к квалификации исполнителя.

В последние годы всё чаще применяется метод наземного лазерного сканирования. Результат работы сканирующей системы – набор прямоугольных пространственных координат (облако точек).

Облако точек содержит достаточно большое и зачастую избыточное количество информации. Понятие о форме и размерах объекта можно получить непосредственно по точкам облака. Но, тем не менее, конечным результатом всего комплекса работ по сканированию, как правило, является векторная модель объекта, а не облако точек. Эта модель создается путем вписывания векторов в точки облака.

Процесс построения векторной модели по облаку точек является довольно кропотливым и требует значительных затрат времени.

На основе анализа существующих методов создания векторных моделей по результатам наземного лазерного сканирования и фотосъемки можно сделать вывод о том, что для повышения производительности создания таких моделей целесообразно разработать технологию совместного использования одиночных снимков и облака точек для создания векторных моделей объектов.

Во **второй** главе подробно рассматривается предложенный метод создания векторных моделей по облаку точек и одиночным снимкам

Основная идея метода заключается в том, что оператор выполняет векторизацию по 2D снимку, полученному цифровой камерой высокого разрешения во время сканирования объекта (рис. 1). Это гораздо удобнее, чем по облаку точек. При этом трёхмерные координаты векторов берутся из облака точек.

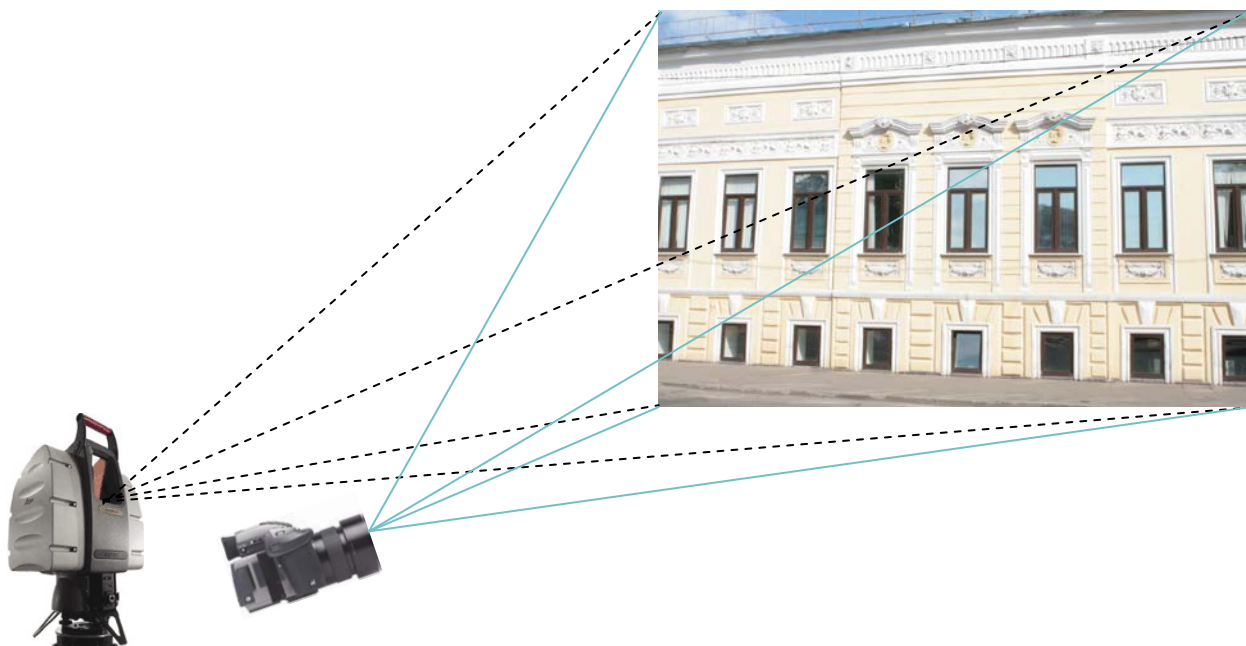


Рисунок 1 –Основной принцип предложенного метода.

Совместное использование облака точек и одиночных снимков позволяет также автоматизировать процесс векторизации объекта. Для привязки одиночного снимка к облаку точек предложен автоматический метод,

основанный на применении виртуального фотоизображения (квазиснимка) облака точек.

Блок-схема разработанного алгоритма представлена на рисунке 2.

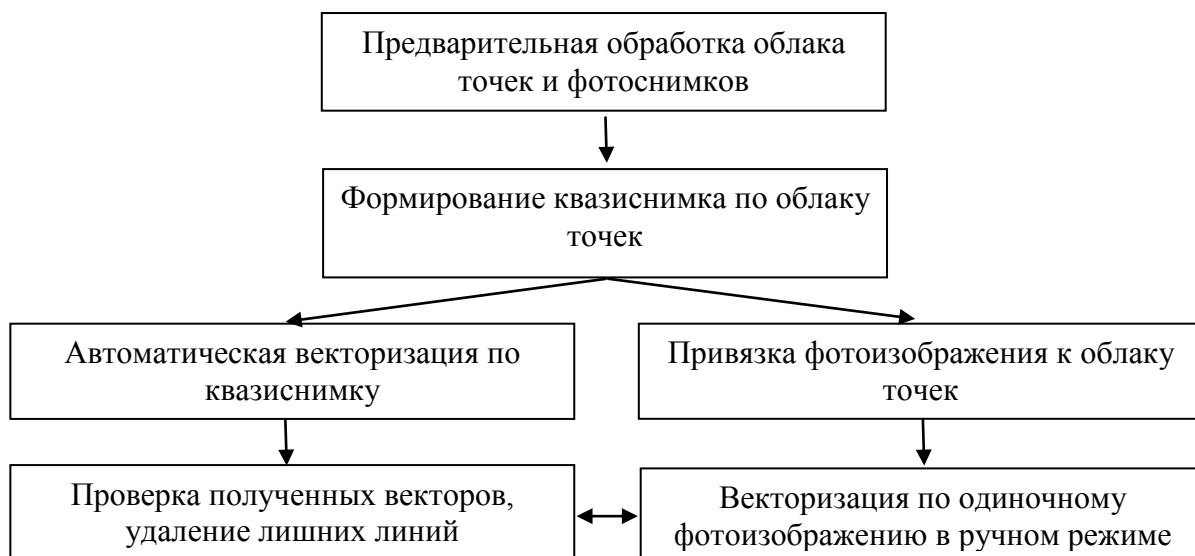


Рисунок 2 – блок-схема алгоритма.

Сначала выполняется предварительная обработка, которая заключается в структурировании и индексировании облака точек и трансформировании фотоснимков.

Облако точек в общем случае представляет собой неорганизованный набор пространственной информации в виде координат точек. Обработка этой информации без предварительной подготовки значительно затруднена в силу огромного количества информации. Именно по этой причине выполняется структурирование и индексирование облака точек.

Для структурирования информации выбрана самая простая структура хранения: регулярная сетка. Всё пространство, занимаемое облаком точек, разбивается равномерно на кубы (воксели), шаг разбиения задается пользователем в зависимости от типа объекта. Для решения задачи моделирования фасадов зданий и других объектов, для сканирования которых выбирается плотность облака точек от 1 мм до 1 см, наиболее подходящим

значением шага является 10 см, что соответствует кубу размером 0.1м*0.1м*0.1м.

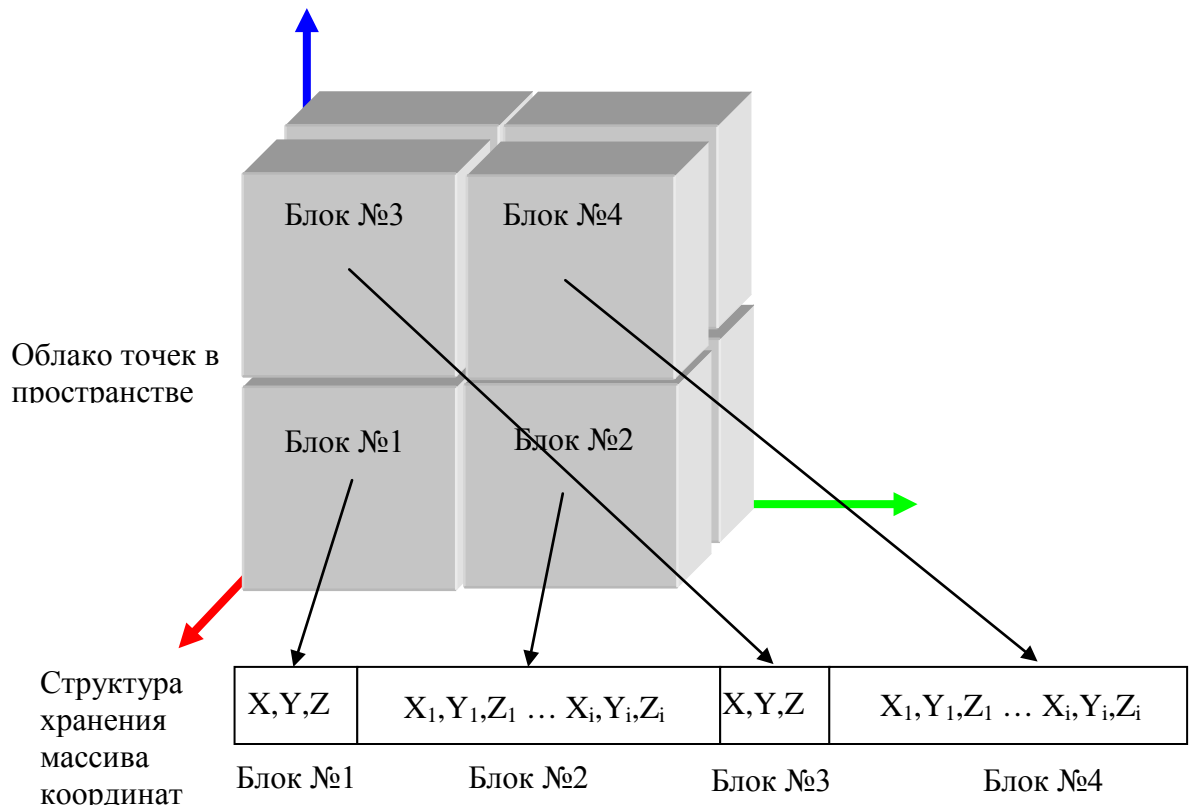


Рисунок 3 – Принцип предварительного структурирования пространственных данных.

Для фотографирования используются любительские цифровые фотокамеры. Они позволяют получать цифровые фотоизображения приемлемого изобразительного качества, но в большинстве случаев геометрические искажения таких изображений, вызванные дисторсией фотообъектива, велики. Для использования таких изображений необходимо устранять дисторсию.

Искажения (дисторсия) выражаются смещением точек в плоскости снимка и составляют до 500 мкм. Такими величинами пренебрегать недопустимо. Для учета дисторсии введем поправки в координаты точек СК снимка:

$$\begin{aligned} dx &= x[(r^2 - r_0^2)k_1 + (r^4 - r_0^4)k_2] + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2xyp_2 \\ dy &= y[(r^2 - r_0^2)k_1 + (r^4 - r_0^4)k_2] + 2xyp_1 + (r^2 + 2y^2)p_2 \end{aligned} \quad (1)$$

, где

dx, dy - поправки в измеренные значения координат точки,

x, y - измеренные значения координат,

k_1, k_2 - коэффициенты радиальной дисторсии,

p_1, p_2 - коэффициенты тангенциальной дисторсии,

$r = \sqrt{x^2 + y^2}$ - расстояние до главной точки,

r_0 - расстояние до точки нулевой дисторсии.

С использованием формул (1) выполняется трансформирование цифрового изображения, что позволяет устранить влияние дисторсии оптической системы.

Следующий этап – формирование виртуального фотоизображения (квазиснимка).

Для привязки реального фотоснимка к облаку точек необходимо найти общие точки на снимке и облаке точек, а затем решить обратную фотограмметрическую засечку. Эту задачу можно решить путем ручного отождествления, что требует работы с облаком точек в режиме 3D и приводит к значительным затратам времени на обработку. Поэтому предлагается автоматизировать этот процесс. Идея автоматизации заключается в том, что сначала по облаку точек формируется квазиснимок, а затем, используя известные алгоритмы отождествления соответственных точек для пары снимков, выделяются опорные точки. Поскольку для каждого пикселя квазиснимка известно его соотношение с облаком точек, то, найдя соответственные точки квазиснимка и реального снимка, мы получим соответственные точки между реальным снимком и облаком точек. Эти точки в дальнейшем используются как опорные для решения обратной засечки.

На первом этапе формирования квазиснимка выполняется задание таких параметров, как разрешение снимка, положение центра проекции; задается часть облака точек, которая должна уместиться на квазиснимке. Углы разворота плоскости снимка рассчитываются автоматически таким образом, чтобы вписать выбранную часть облака точек в кадр.

На втором этапе производится пересчет пространственных координат точек облака на плоскость квазиснимка. Для каждого пикселя запоминаются пространственные координаты точек облака, соответствующих пикселю.

На третьем этапе производится проверка сформированного квазиснимка на наличие «дыр» - незаполненных фрагментов изображения и их заполнение.

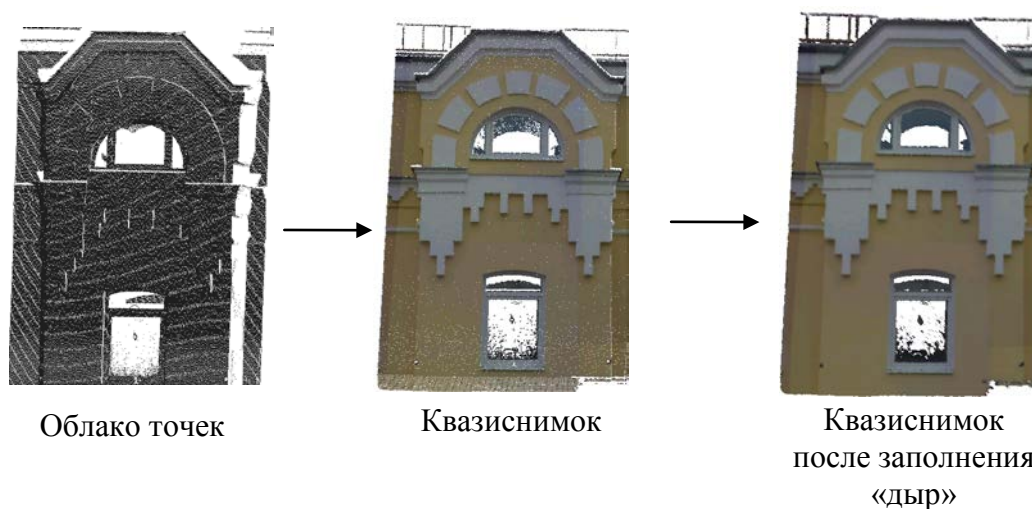


Рисунок 4 – Облако точек и квазиснимок

При формировании квазиснимка в качестве используемых цветов может быть назначен ряд параметров:

- условный цвет, соответствующий интенсивности отраженного сигнала;
- реальный цвет объектов, полученный с помощью встроенной в сканер фотокамеры;
- условный цвет, изменяющийся в зависимости от удаления точек объекта от центра проекции;
- условный цвет, изменяющийся в зависимости от удаления точек от вертикальной или произвольной аппроксимирующей плоскости;
- условный цвет, присвоенный точкам в соответствии со значением статистических параметров (кривизны), рассчитанных для каждой точки облака точек.

Следует отметить, что наиболее приближенное к реальному изображение будет получено в случае использования реальных цветов объектов.

В качестве статистических параметров для каждой точки облака точек можно рассчитать различные величины, такие как «дисперсия», «медиана» и др. Как показали исследования автора, эти величины чувствительны к разрывам и пробелам в облаке точек, что часто встречается в практике лазерного сканирования. Поэтому в данной работе разработан алгоритм вычисления в каждой точке облака так называемой «кривизны».

Кривизна в каждой точке вычисляется по соседним точкам, принцип отбора которых показан на рисунке 5.

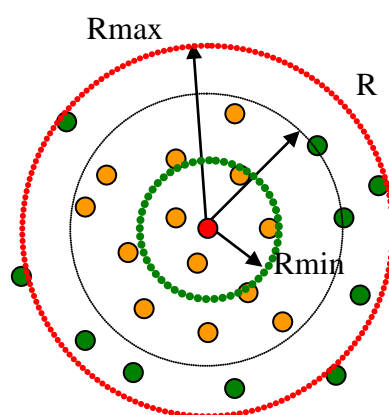


Рисунок 5 – Иллюстрация поиска точек для расчета параметров, оранжевым цветом обозначены включенные в расчет N точек, зеленым цветом обозначены отклоненные точки

Процесс ограничивается максимальным и минимальным радиусом поиска. В качестве максимального радиуса поиска задается шаг разбиения блоков. Кроме того, ограничивается максимальное и минимальное количество точек, участвующих в расчете. Если в пределах максимального значения радиуса поиска точек не найдено, то текущая точка отбраковывается, а если точек оказывается больше, чем максимально допустимо, то значение радиуса понижается и выполняется повторная проверка при меньшем значении радиуса поиска. Радиус может уменьшаться до минимального ограничивающего значения. Если радиус достиг минимального значения, то расчет выполняется по всем находящимся в пределах этого радиуса точкам.

«Кривизна» вычисляется по формуле:

$$v = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}. \quad (2)$$

, где

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - собственные числа матрицы:

$$C = dP^{-1} \cdot dP \quad (3)$$

, где

$$dP = P - \bar{P} = \begin{pmatrix} x_1 - \bar{x} & y_1 - \bar{y} & z_1 - \bar{z} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n - \bar{x} & y_n - \bar{y} & z_n - \bar{z} \end{pmatrix} \quad (4)$$

, где

$$P = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & z_n \end{pmatrix} - \text{массив точек, отобранных для расчета,}$$

$\bar{P} = (\bar{x} \quad \bar{y} \quad \bar{z})$ - координаты «центра масс» (среднее).

Привязка фотоизображений к облаку точек осуществляется по опорным точкам, выделенным на облаке точек и опознанным на снимке. В качестве опорных точек могут быть использованы любые характерные точки, опознанные на облаке точек и на снимке. Для вычисления элементов внешнего ориентирования снимка используется обратная фотограмметрическая засечка.

Как уже отмечалось выше, отождествление соответственных опорных точек на снимке и облаке точек можно осуществить автоматически, используя квазиснимок облака точек.

В этом случае достаточно применить к квазиснимку и реальному снимку один из известных способов отождествления соответственных точек. Поскольку квазиснимок отличается от реального масштабом, сдвигом и угловой ориентацией, то в данной работе предлагается использовать известный алгоритм SIFT, который инвариантен к масштабу, сдвигу и повороту. Алгоритм SIFT выполняется в четыре этапа. Схема работы алгоритма SIFT приведена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Схема работы алгоритма SIFT

После выявления характерных точек на двух изображениях выполняется их сопоставление. Таким образом, в результате обработки на фотоизображении и на облаке образуется набор отождествленных точек.

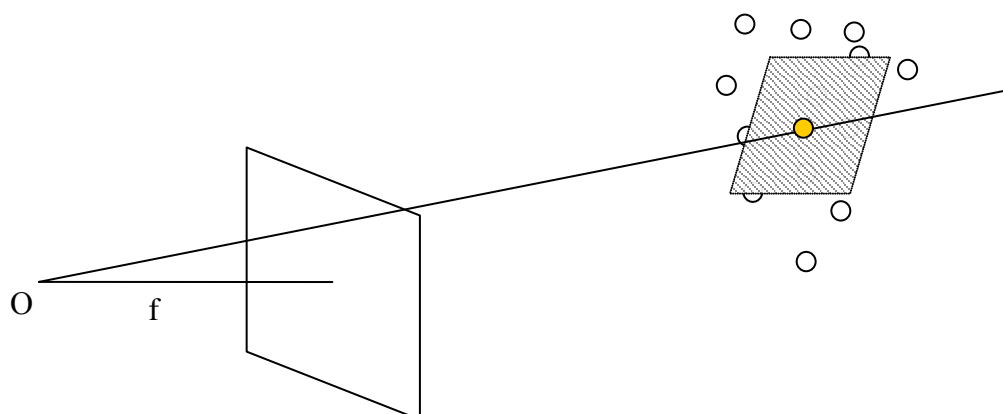


Рисунок 7– Переход от пиксельных координат квазиснимка к пространственным координатам

После нахождения соответственных точек на реальном и квазиснимке вычисляются пространственные координаты этих точек путем вычисления координат точки пересечения проектирующего луча с плоскостью, вписанной в отобранные из облака точки (рис. 7). Для вписывания плоскости используется метод наименьших квадратов, параметрический способ.

При отборе точек для аппроксимации плоскостью учитывается вычисленное значение кривизны – к расчету принимаются только те точки, для которых значение кривизны соответствует плоскостям.

Таким образом решается задача получения координат опорных точек, по которым решается обратная фотограмметрическая засечка для реального снимка.

Векторизация объектов в интерактивном режиме по одиночному снимку выполняется следующим образом. Оператор с помощью измерительной марки (курсора) обводит выбранный контур, фиксируя точки перегиба (узлы). Для каждого узла вычисляются пространственные координаты по облаку точек путем нахождения точки пересечения проектирующего луча с плоскостью, построенной по ближайшим к лучу точкам облака. Для ускорения процесса отбора ближайших к лучу точек, используя известные уравнения коллинеарности, все точки облака проектируются на снимок, то есть выполняется вычисление плоских координат x_i y_i в системе координат снимка. Отбор ближайших к измеренной точке точек облака выполняется по их плоским координатам x_i y_i , что значительно проще, чем осуществлять отбор точек по их пространственным координатам X_i , Y_i , Z_i . Кроме того, осуществляется анализ выбранных точек на принадлежность их к плоскости. Для этого снимок, как и облако точек, сегментируются.

При отборе точек учитывается положение измеренного узла относительно сегментов изображения. Если узел расположен внутри сегмента или в пределах одного пикселя от него, то велика вероятность того, что узел принадлежит плоскому участку поверхности объекта или краю плоскости. Плоским участкам соответствует определенное значение статистического параметра. Таким образом, если узел расположен внутри сегмента, то для интерполяции следует отобрать N ближайших точек, имеющих соответствующее значение статистического параметра и расположенных в пределах сегмента на снимке.

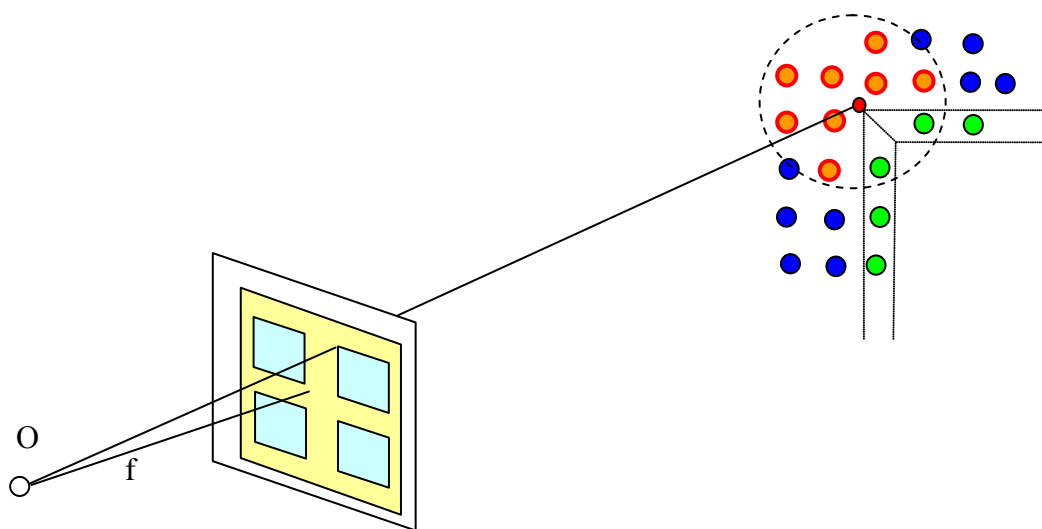


Рисунок 8 – Вычисление пространственных координат узловых точек векторов

В отобранные точки вписывается плоскость. Затем вычисляются координаты точки пересечения прямой и плоскости.

Некоторые детали объектов, отображающиеся на фотоснимке прямой линией, могут иметь сложную пространственную форму.

Для решения этой проблемы на этапе создания линий автоматически проводится проверка промежуточных точек между узловыми точками. Если отклонение промежуточных точек превышает заданный предел, то они автоматически фиксируются новыми узлами.

Автоматическая векторизация выполняется по квазиснимку. Для этого на квазиснимке, цвет пикселям которого назначен в соответствии со значением кривизны, выполняется выделение граней, а затем грани из плоскости квазиснимка переносятся на поверхность облака точек. В дальнейшем планируется развитие метода автоматизированной векторизации путем сравнения выделенных на квазиснимке граней с гранями, выделенными на реальном фотоизображении. В результате сравнения должны отбраковываться ложные грани, а также должна проводиться корректировка выделенных по квазиснимку граней с целью повышения точности модели.

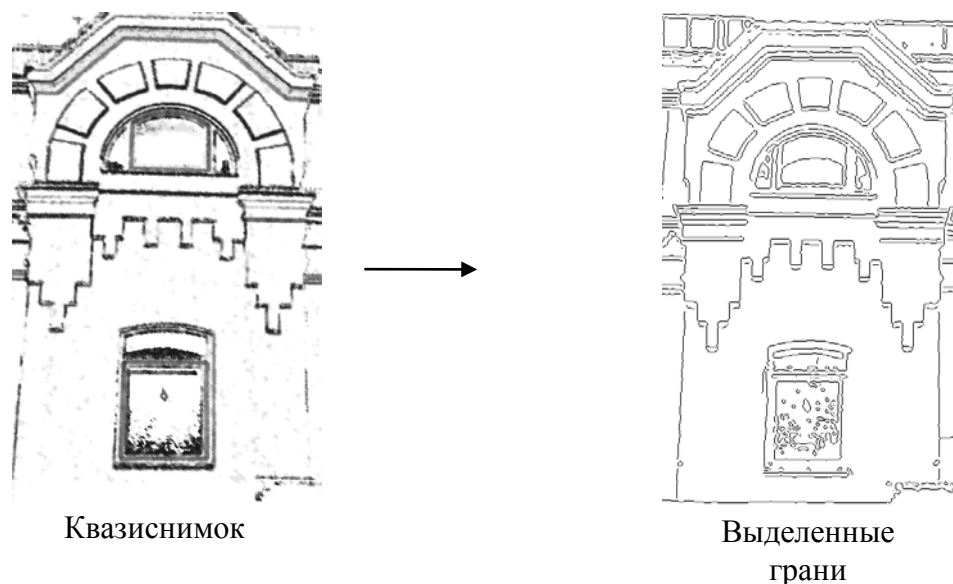


Рисунок 9 – Автоматически выделенные грани

В **третьей** главе описываются созданные программные средства и опыт практического применения предложенной методики.

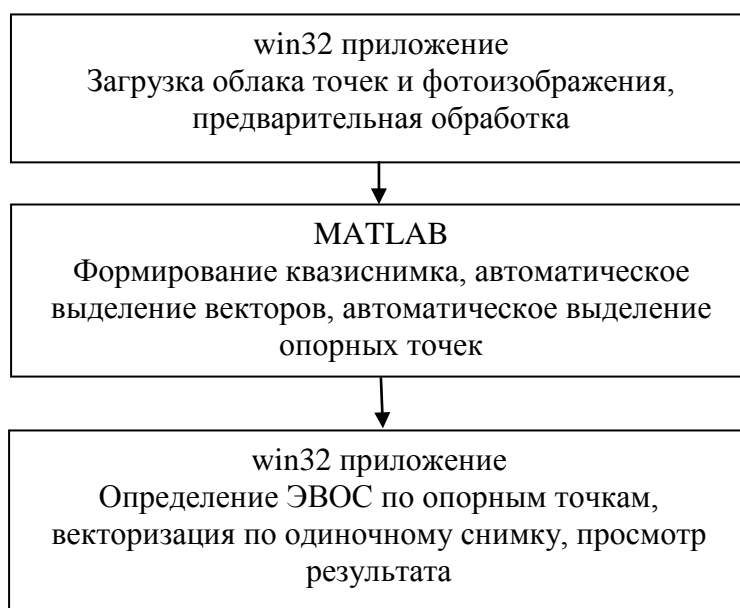


Рисунок 10 – Реализованные программные средства

Программное обеспечение, реализующее разработанные методы и алгоритмы написано на языке C++ и MATLAB (рис. 10).

На этапе отладки отдельных частей алгоритма тестирование выполнялось на идеальных тестовых объектах. Проверка алгоритма на идеальных тестовых объектах позволила убедиться в том, что теория методов верна, а программное обеспечение работает корректно.

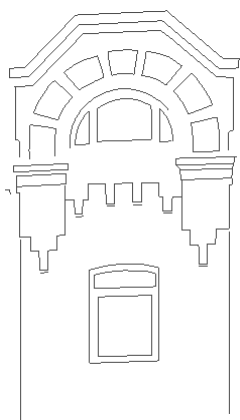
Экспериментальные исследования разработанных методов и алгоритмов обработки облаков точек и одиночных снимков осуществлены на двух реальных объектах.

Первый объект представляет собой простой фасад здания с элементами правильной формы. Этот объект отсканирован с помощью наземного лазерного сканера Topcon GLS-1000 с шагом 1 см на поверхности объекта, точность определения координат точек облака 1 мм. Во время сканирования было выполнено фотографирование объекта камерой Canon EOS 400D с объективом, имеющим фокусное расстояние 24 мм. Размер пикселя фотоизображения составляет 0,003 м на поверхности объекта.

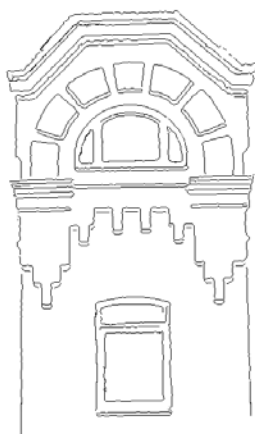
Данные были загружены в программу ImageMaster Pro, где выполнена привязка фотоизображений к облаку точек и выполнена интерактивная векторизация по стереопарам фотоизображений. Точность привязки фотоизображений 1 пиксель, точность созданной векторной модели 1 см.

После этого выполнена обработка данных в созданном программном обеспечении. Точность привязки фотоизображения к облаку точек составила 1 пиксель, на этапе отождествления пар точек потребовалось вмешательство оператора для отбраковки ложных отождествлений. Создано две векторных модели: в полностью автоматическом режиме и в интерактивном режиме пользователем. В автоматически созданной модели отбраковано более 50 % линий.

Выполнено сравнение этих двух моделей с моделью, созданной классическим методом.



Векторизация по стереопаре



Автоматическая векторизация



Интерактивная векторизация

Рисунок 11 – Результат векторизации первого объекта.

На рисунке 11 показаны результаты векторизации, выполненной по стереопарам снимков в программе ImageMaster Pro и в разработанном программном обеспечении по облаку точек и одиночному снимку. В таблице 1 приведены результаты оценки точности созданных векторов (в проверке участвовало более 200 пар точек), а в таблице 2 – затраты времени на создание этих векторов.

Таблица 1.

Результат контрольной проверки положения созданных векторов.

Отклонение	Автоматическая векторизация	Интерактивная векторизация
Максимальное	0.029 м	0.026 м
Минимальное	0.003 м	0.003 м
Среднее квадратическое	0.018 м	0.018 м

Сравнение затрат времени на обработку первого объекта.

Этап обработки	Затраты времени	
	Обработка в Image Master	Обработка по предложенной методике
Привязка снимка к облаку точек	~1 час	~40 мин
Векторизация	~20 мин	~10 мин
Всего:	1 час 20 мин	50 мин

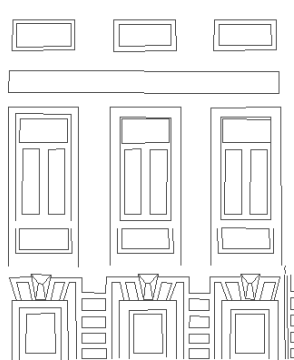
Второй объект - сложный фасад здания с простыми и сложными элементами разного размера, преимущественно правильной формы, регулярно и нерегулярно расположенными по фасаду. Этот объект отсканирован с помощью наземного лазерного сканера Z+F Imager 5010 с шагом 0,6 см - 1 см на поверхности объекта (плотность облака точек на поверхности объекта при удалении от сканера снижается), точность определения координат точек облака менее 1 мм. Во время сканирования было выполнено фотографирование объекта камерой Canon EOS 400D с объективом, имеющим фокусное расстояние 24 мм. Размер пикселя фотоизображения составляет 0,003 м на поверхности объекта.

Данные по второму объекту также были загружены в программу ImageMaster Pro. Точность привязки фотоизображений 1 пиксель, точность созданной векторной модели 1 см.

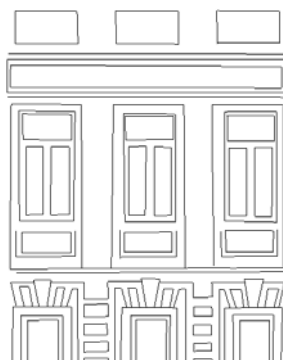
После этого выполнена обработка данных в созданном программном обеспечении. Точность привязки фотоизображения к облаку точек составила 1 пиксель, на этапе отождествления пар точек потребовалось вмешательство оператора для отбраковки ложных отождествлений. Создано две векторных модели: в полностью автоматическом режиме и в интерактивном режиме пользователем.

В автоматически созданной модели отбраковано более 55 % линий.

Выполнено сравнение этих двух моделей с моделью, созданной классическим методом.



Векторизация по стереопаре



Автоматическая векторизация



Интерактивная векторизация

Рисунок 12 – Результат векторизации второго объекта.

На рисунке 12 показаны результаты векторизации, выполненной по стереопарам снимков в программе ImageMaster Pro и в разработанном программном обеспечении по облаку точек и одиночному снимку. В таблице 3 приведены результаты оценки точности созданных векторов (в проверке участвовало более 200 пар точек), а в таблице 4 – затраты времени на создание этих векторов.

Таблица 3.

Результат контрольной проверки положения созданных векторов.

Отклонение	Автоматическая векторизация	Интерактивная векторизация
Максимальное	0.029 м	0.029 м
Минимальное	0.003 м	0.006 м
Среднее квадратическое	0.020 м	0.020 м

Таблица 4.

Сравнение затрат времени на обработку второго объекта.

Этап обработки	Затраты времени	
	Обработка в Image Master	Обработка по предложенной методике
Привязка снимка к облаку точек	~1 час	~40 мин
Векторизация	~30 мин	~15 мин
Всего:	1 час 30 мин	55 минут

Заключение:

В работе выполнен анализ существующих методов создания векторных моделей по результатам наземного лазерного сканирования и фотосъемки, на основании которого сделан вывод о необходимости разработки технологии совместного использования одиночных снимков и облака точек для создания векторных моделей объектов.

Разработан алгоритм оптимизации структуры хранения облака точек в виде блоков (вокселей) определенного размера. Это позволило повысить скорость обработки облака точек в десятки раз.

Разработан метод автоматизированной привязки одиночных снимков к облаку точек, основанный на формировании квазиснимка по облаку точек и отождествлении соответственных точек реального и квазиснимков с использованием SIFT.

Разработана методика интерактивной векторизации объектов по одиночному снимку. Пространственные координаты узловых точек полилиний получаются автоматически по облаку точек в реальном масштабе времени. В процессе построения векторов выполняется автоматический анализ принадлежности к прямой линии участка объекта между двумя соседними

узловыми точками, измеренными оператором на снимке. Если на объекте это не прямая линия, то автоматически добавляется узловая точка по середине между измеренными узловыми точками.

Предложен алгоритм автоматической векторизации объектов по облаку точек, основанный на вычислении для каждой точки облака статистического параметра в виде так называемой «кривизны». Затем облако сегментируется по значениям этой кривизны и формируется квазиснимок, на котором выделяются контуры с помощью оператора Canny.

Разработано программное обеспечение, реализующее предложенные методы и алгоритмы обработки облака точек и одиночных снимков.

Выполнены экспериментальные исследования предложенных методов и алгоритмов, на основании которых можно сделать следующие выводы:

а) Метод автоматизированной привязки одиночного снимка к облаку точек позволяет существенно сократить время, по сравнению с полностью ручным выбором опорных точек, однако, этот метод требует дальнейшей доработки и исследований, особенно в части автоматической отбраковки грубых ошибок отождествления соответственных точек, добавления недостающих. Один из путей решения задачи отбраковки грубых измерений – это применение робастного способа уравнивания при решении обратной засечки.

б) Методика интерактивной векторизации показала свою эффективность с точки зрения простоты работы оператора и точности выполнения работ.

в) Автоматическая векторизация объектов по облаку точек показала достаточно высокую точность по сравнению с векторизацией по стереопаре. С целью повышения надежности алгоритма выявления контуров следует продолжить исследования. Один из путей решения задачи – выделить контуры (например, с помощью оператора Канни) на реальном снимке по фототонам и наложить их на квазиснимок с выделенными контурами.

Публикации по теме диссертации

1. Чибуничев А.Г., Галахов В.П. Автоматическая привязка снимков к облаку точек, полученному с помощью наземного лазерного сканера. // Изв. Вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», Москва, 2011, №2, стр. 84-89.
2. Чибуничев А.Г., Галахов В.П. Разработка автоматизированной технологии создания векторной модели объекта по результатам трехмерного лазерного сканирования и цифровой фотосъемки. // Изв. Вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», Москва, 2011, №2, стр. 89-92.
3. Чибуничев А.Г., Галахов В.П. Технология совместной обработки результатов наземного лазерного сканирования и цифровой фотосъемки. // Инженерные изыскания, Москва, 2011, №2, стр. 32-36.
4. Chibunichev A.G., Galakhov V.P. IMAGE TO POINT CLOUD METHOD OF 3D MODELLING // SPRS Archives – Volume XXXIX-B3, 2012, XXII ISPRS Congress, Technical Commission III, Australia, Melbourne, 2012, 25 August – 01 September.