

Велижев Александр Брониславович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЗАИМНОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ  
ТРЕХМЕРНЫХ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В  
РЕЗУЛЬТАТЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

25.00.34 – «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



## **Общая характеристика работы**

**Актуальность диссертационной работы:** В настоящее время для создания трехмерных моделей объектов все более широко применяются лазерные сканеры. Основной особенностью лазерного сканирования является большое количество исходной информации. Поэтому вопросы автоматизации обработки этой информации относятся к наиболее актуальным вопросам современной фотограмметрии.

Данная работа посвящена автоматизации решения задачи взаимного ориентирования трехмерных дискретных моделей объектов, которое позволит сделать технологию восстановления трехмерной формы объекта более эффективной, а также сократить время полевых работ. Кроме того, в диссертации также рассмотрен вопрос быстрой и эффективной визуализации результатов лазерного сканирования, что также является актуальной на сегодняшний день научной задачей.

**Цель диссертационной работы:** разработка и исследование алгоритмов взаимного ориентирования трехмерных дискретных моделей объектов, полученных в результате лазерного сканирования.

### **Основные задачи исследования:**

- Провести теоретический анализ существующих методик и алгоритмов взаимного ориентирования трехмерных дискретных моделей объектов, полученных в результате лазерного сканирования;
- Разработать алгоритм автоматического взаимного ориентирования трехмерных дискретных моделей объектов без использования специальных марок-отражателей;
- Провести экспериментальный анализ точности алгоритма взаимного ориентирования трехмерных дискретных моделей объектов;

- Разработать алгоритм быстрой визуализации результатов лазерного сканирования.

**Научная новизна работы:** - Предложен новый алгоритм автоматического взаимного ориентирования трехмерных дискретных моделей объектов. Предложенные ранее методы не решали поставленную задачу при отсутствии начальных приближений искомым неизвестных. Предложенный метод лишен этого недостатка. Предлагаемый метод основан на использовании сравнения ориентационных гистограмм и воксельных представлений дискретных моделей объектов. Проведенный анализ точности полученного решения задачи показал, что точность решения соответствует точности измерения формы объекта лазерным сканером. Разработанный алгоритм тестировался на реальных данных и показал высокую эффективность и надежность.

Разработанный алгоритм быстрой визуализации дискретных точечных моделей, состоящих из десятков миллионов точек, решает актуальную проблему отображения результатов сканирования.

**Практическая значимость:** Разработанный алгоритм взаимного ориентирования может быть использован при проведении реальных производственных работ. При решении задачи не используются специальные марки-отражатели, что позволяет сократить время проектирования и производства съемочных работ.

Разработана компьютерная программа, позволяющая:

- Автоматически решить задачу взаимного ориентирования дискретных точечных моделей;
- Отображать на экране компьютера дискретные точечные модели, состоящие из десятков миллионов точек, без заметных задержек и сильной генерализации данных при выполнении операции вращения.

**Апробация работы:** Результаты работы докладывались на третьей общероссийской конференции изыскательских организаций «перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в российской федерации» в 2007 году; на конгрессе международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования в Пекине в 2008 году, на конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых в МИИГАиК в 2006, 2007 годах.

Предлагаемая методика визуализации дискретных точечных моделей внедрена в инженерное программное обеспечение GeoKosmos® GeoModeller.

**Публикации:** По материалам диссертации опубликовано 4 работы, из них 2 – в журнале, включенном в перечень ВАК.

**Структура и объем диссертации:** Диссертация изложена на 78 страницах основного текста и состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа проиллюстрирована 50 рисунками, 5 таблицами. Библиографический указатель содержит 60 источников, в том числе 53 иностранных.

### **Краткое содержание работы**

Сформулируем задачу взаимного ориентирования дискретных точечных моделей. *Дискретной точечной моделью объекта  $P$  будем называть набор из  $N$  трехмерных точек, расположенных произвольно на поверхности объекта в единой произвольно ориентированной в пространстве системе координат.* Пусть  $P_1$  и  $P_2$  – две различные точечные модели одного объекта, описывающие поверхность с некоторым перекрытием.

Любую точку  $P_1$  можно перевести в систему координат  $P_2$ , используя уравнение:

$$p'_{3 \times 1} = R \cdot p_{3 \times 1} + T_{3 \times 1} \quad (1),$$

где  $T$  – вектор переноса и  $R$  – матрица поворота между системами координат точечных моделей  $P_1$  и  $P_2$ ,  $p_1$  – произвольная точка из  $P_1$ ,  $p_1'$  – координаты точки  $p_1$  в системе координат  $P_2$ . Пусть  $N_1$  и  $N_2$  – число точек в точечных моделях  $P_1$  и  $P_2$ .

Таким образом, решение задачи взаимного ориентирования дискретных точечных моделей сводится к отысканию значений трех углов  $\alpha_m, \omega_m, \kappa_m$ , входящих в матрицу поворота  $R$ , и трех координат  $X_0, Y_0, Z_0$ , задающих вектор переноса  $T$ .

Первая глава диссертации посвящена анализу существующих методов решения задачи взаимной ориентации точечных моделей. Во второй главе рассмотрена предлагаемая автором методика решения задачи ориентации. Третья глава посвящена анализу и оценке результатов решения задачи предложенным методом.

Все методы определения элементов взаимного ориентирования дискретных точечных моделей, полученных наземным лазерным сканером, можно условно разбить на два класса:

- с использованием специальных отражателей-марок;
- с использованием только точек сканирования.

В первой методике специальные отражатели плоской, сферической или цилиндрической формы непосредственно устанавливаются на объекте съемки с учетом видимости с разных точек сканирования. На сегодняшний день такие методики автоматизированы: разработаны алгоритмы автоматического поиска и отождествления идентичных отражателей-марок в перекрывающихся точечных моделях.

Важно отметить, что информации, заложенной в самих результатах сканирования, достаточно для решения задачи ориентирования точечных моделей, поэтому в последние десятилетия параллельно разрабатываются методики ориентирования без использования специальных отражателей. Такие методики имеют более высокий уровень автоматизации технологического процесса, но требуют существенно более сложных и

устойчивых алгоритмов решения. Первые работы появились в начале 1990 годов. В течение нескольких лет был независимо разработан и предложен алгоритм итеративного решения задачи, который определил направление развития методов автоматического взаимного ориентирования.

Предложенный алгоритм носит название *итеративного алгоритма ближайшей точки* (далее ICP, от iterative closest point). Данный алгоритм получил очень широкую известность и многочисленные улучшения, ссылки на алгоритм есть практически в каждой научной работе по данной теме. Но важно сразу заметить, что его применение возможно только для *уточнения* решения задачи и не может быть использовано для решения в общем случае. Такое ограничение обусловлено областью сходимости, которая заложена в основе самого алгоритма. Но, несмотря на ограничение в области применения, алгоритм ICP стал основой решения важных вопросов, которые являются основополагающими для оценки и анализа решения всей задачи. В первую очередь, это вопрос оценки точности и качества решения задачи, во-вторых, это вопрос оценки устойчивости и надежности решения задачи. В диссертации рассматривается развитие методик автоматического взаимного ориентирования точечных моделей, на примере развития алгоритма ICP.

Главным достоинством алгоритма ICP является простота его реализации, однако уже из формулировки алгоритма напрямую следуют и его главные недостатки:

- требуются значения начальных приближений  $R_1$  и  $T_1$  для первой итерации;
- на каждой итерации необходимо выполнять трудоемкую операцию поиска ближайшей точки.

Для устранения указанных недостатков требуется приближенно оценить ориентацию точечных моделей, оптимизировать процедуру поиска соответствий и сократить число итераций алгоритма. Упомянутые выше недостатки предопределили основные направления в развитии каждого из этапов алгоритма:

- получение начальных приближений угловой ориентации и сдвига одной дискретной модели относительно другой;
- выбор характерных точек дискретных моделей для последующего отождествления;
- выбор функции расстояния между парой соответствующих точек;
- отождествление соответствующих точек;
- минимизация суммы значений функции расстояния между всеми парами соответствующих точек.

Многочисленные работы, развивающие алгоритм ИСР, позволяют решить его основные недостатки, однако, главная проблема существующих методов - ограничение области сходимости, на текущий момент остается не решенной. Многие предложенные на сегодняшний день методы решения задачи основываются на предположении о наличии у объекта съемки поверхностей особой формы, например, плоскостей. Такие методы не являются универсальными и сильно ограничены в применении. Таким образом, существующие подходы не используют весь потенциал информации, заложенной в результатах сканирования.

В данной работе предложено разбить решение задачи взаимной ориентации точечных моделей на два главных этапа:

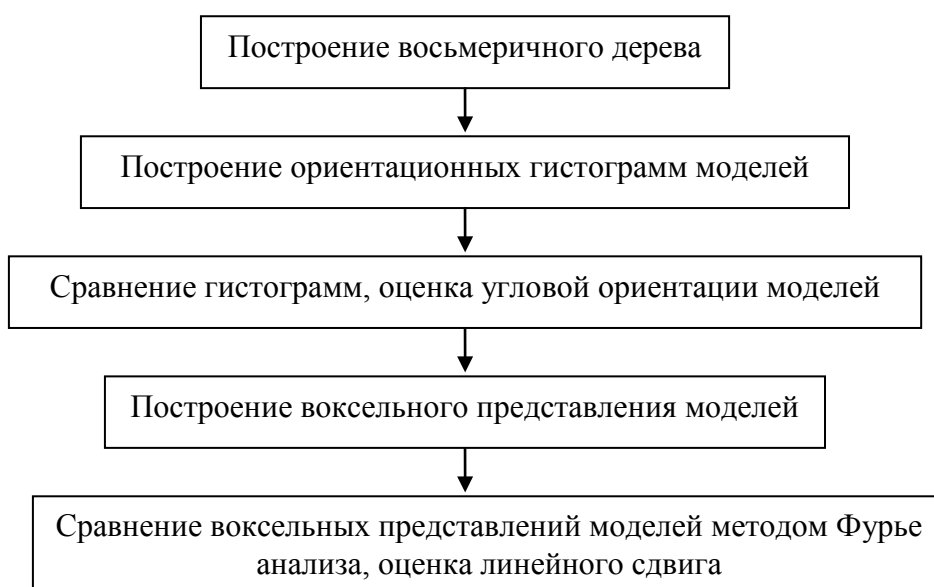
- оценка матрицы угловой ориентации  $R$ ;
- оценка вектора сдвига  $T$ .

Для оценки матрицы угловой ориентации для исходного точечного представления объекта выполнялось построение ориентационной гистограммы, обладающей важным свойством *инвариантности к преобразованию сдвига*. Получение ориентационной гистограммы для точечной модели требует вычисления нормалей в каждой точке. Для эффективного вычисления нормалей произвольно организованная точечная модель преобразовывается в восьмеричное дерево, каждая ячейка которого содержит исходные точки.



После нахождения угловой ориентации каждая точка второй точечной модели  $P_2$  поворачивается в соответствии с найденными углами. В результате чего, точечные модели оказываются выровненными друг относительно друга по угловой ориентации. Затем выполняется оценка сдвига с помощью сравнения воксельных представлений каждой из точечных моделей на основе дискретного преобразования Фурье.

Рассмотрим общую блок-схему предлагаемого метода:



Результаты лазерного сканирования можно представить в виде неорганизованного массива трехмерных точек. В действительности, массив точек может иметь определенную внутреннюю структурированность, которая зависит от методики измерения точек лазерным сканером. Последовательность измерений точек может отличаться в зависимости от типа сканера, поэтому для обеспечения универсальности обработки данных необходимо привести исходные данные к универсальной структуре – пространственному хранилищу данных. Структуры данных решают не только вопрос универсальной организации данных, но также позволяют оперировать с точками максимально эффективно.

В данной работе мы предлагаем использовать в качестве пространственной структуры данных *иерархическое восьмеричное дерево*. Такую структуру данных называют иерархическим деревом по причине того,

что внутренняя структура дерева представляет собой множество вложенных друг в друга элементов (Рис.1).

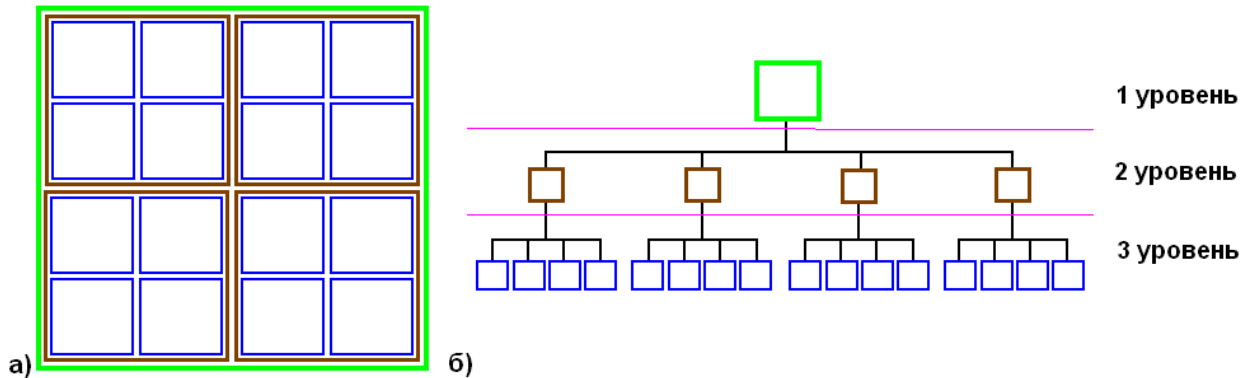


Рис.1. Пример двумерного четвертичного иерархического дерева. а) вложенность узлов дерева б) иерархия узлов дерева. Для наглядности на рисунке показано двумерное четвертичное дерево, восьмеричное дерево аналогично разбивает трехмерное пространство уже на 8 объемных частей.

Восьмеричное иерархическое дерево обладает следующими свойствами:

- каждый нелистовой узел содержит в себе восемь ближайших потомков;
- все узлы одного уровня не пересекаются;
- все ближайшие потомки узла полностью включают в себя его пространство;
- точки сканирования хранятся только в листьях дерева;
- все потомки одного уровня покрывают все пространство корня дерева.

Рассмотрим понятие ориентационной гистограммы и алгоритм её построения. Расширенные изображения гауссиана (далее, РИГ) являются одним из вариантов представления формы выпуклого многогранника. Построение РИГ осуществляется путем переноса всех единичных векторов нормали к каждой грани многогранника в общий центр – центр гауссовой сферы. Совокупность нормалей и расстояний от центра масс объекта до начала нормали математически строго описывают форму многогранника. Понятие ориентационной гистограммы основано на РИГ. Если наложить на полученную гауссову сферу сетку меридианов и параллелей с заданным угловым шагом, а затем для каждой полученной клетки на сфере рассчитать число нормалей, указывающих на эту клетку, то мы получим сферическое представление *ориентационной гистограммы*. Можно представить

ориентационную гистограмму в виде изображения  $H$ , каждый пиксель которого соответствует клетке, образованной пересечением меридианов и параллелей на гауссовой сфере, а значением в каждом пикселе изображения будет количество нормалей (Рис. 2.).

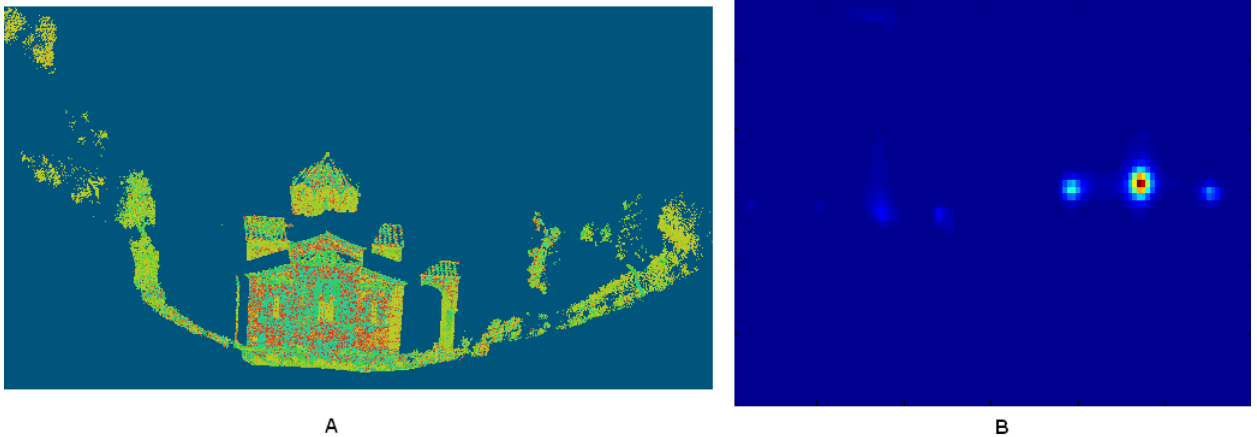


Рис. 2. А – дискретная модель фасада церкви, В – соответствующая ориентационная гистограмма. Пик ориентационной гистограммы соответствует плоскости фасада церкви.

Рассмотрим алгоритм построения ориентационной гистограммы  $H$ :

- Вычисляем размер матрицы ориентационной гистограммы  $H_{M \times N}$
- Инициализируем все элементы матрицы нулевыми значениями
- Для каждого вектора нормали  $V_{\text{норм}}$ :
  - Вычислить значения углов  $\omega$  и  $\alpha$
  - Вычислить значения индексов  $(\alpha\_ind, \omega\_ind)$  ориентационной матрицы
  - Увеличить значение матрицы  $H(\alpha\_ind, \omega\_ind)$  на единицу

Примеры дискретных точечных моделей и их ориентационных гистограмм приведены на рисунке 3.

Ориентационная гистограмма обладает важным свойством инвариантности относительно преобразования сдвига исходной точечной модели.

После применения операции поворота к исходному объекту, его ориентационная гистограмма *изменится*. Получить ориентационную гистограмму  $H'$  повернутой модели можно на основе исходной

гистограммы  $H$ . Таким образом, для расчета  $H'$  не придется выполнять дорогую операцию вычисления нормалей в каждой точке.

Определим операцию поворота ориентационной гистограммы как поворот единичных векторов, соответствующих каждому пикселю гистограммы. Поместив повернутые единичные векторы в центр гауссовой сферы, мы можем получить новую ориентационную гистограмму:

$$H' = R \cdot H, \quad (17)$$

где  $R \in SO(3)$  - матрица поворота.

Таким образом, мы можем быстро получить ориентационные гистограммы для различных вариантов угловой ориентации объекта на основе только одной гистограммы.

Введем функцию схожести  $C(H_1, H_2)$  для двух ориентационных гистограмм

$H_1$  и  $H_2$  :  
 $M \times N$      $M \times N$

$$C(H_1, H_2) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_1(i, j) H_2(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_1(i, j)^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M H_2(i, j)^2}}. \quad (18)$$

Рассмотрим алгоритм оценки угловой ориентации двух точечных представлений объекта:

1. Расчет ориентационных гистограмм  $H_1$  и  $H_2$  для  $P_1$  и  $P_2$  соответственно;
2. Поиск максимума значений функции схожести  $C(H_1, H_2)$  при различных допустимых значениях матрицы поворота  $R$ .

Значение матрицы поворота  $R_{C_{\max}}$ , соответствующее максимуму функции схожести, и есть **искомая угловая ориентация** точечных представлений объекта. График зависимости функции схожести от угла поворота приведен на рисунке 4.

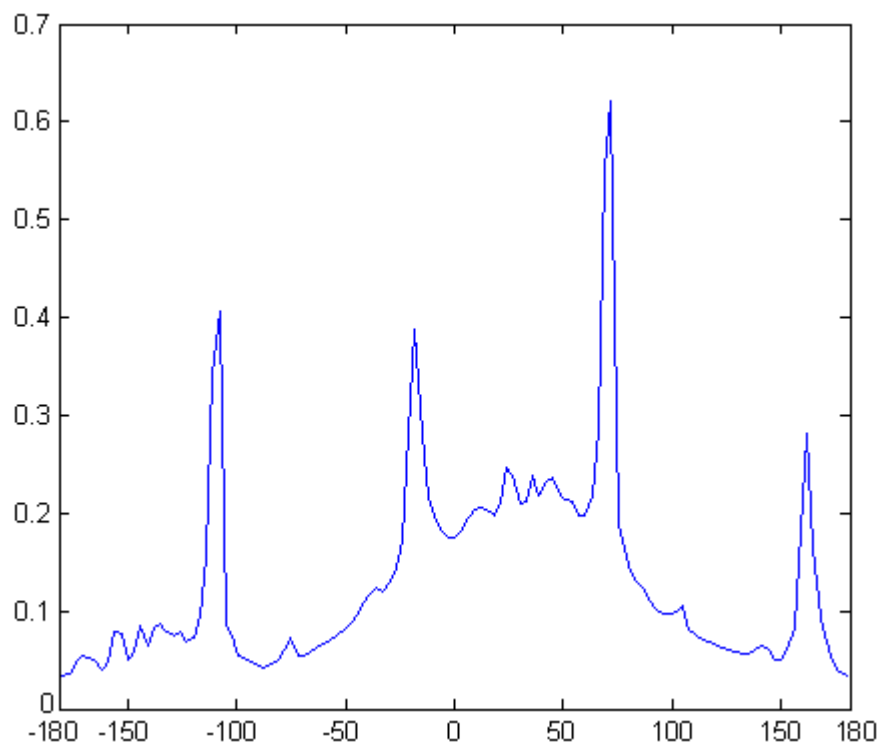


Рис. 3 График зависимости функции схожести  $C(H_1, H_2)$  при поворотах ориентационной гистограммы вокруг оси  $Z$  с шагом 3 градуса.

Рассмотрим построение воксельного представления дискретной точечной модели, позволяющее оценить значение сдвига между системами координат дискретных точечных моделей. Понятие воксель происходит от английского **VO**lume **E**lement и обозначает элемент трехмерного изображения, по аналогии с понятием пиксель для обычных цифровых изображений. Таким образом, воксельное представление объекта – это трехмерное изображение, состоящее из вокселей. Каждому вокселю может быть сопоставлено числовое значение. В рамках решения данной задачи мы рассматриваем воксели, значения которых могут принимать только значения 0 или 1. Такие воксельные представления называют бинарными.

Если для каждой точки облака доступна информация о цвете или интенсивности отраженного сигнала, то эту информацию можно использовать в качестве значений элементов вокселей [1].

После нахождения матрицы угловой ориентации двух дискретных представлений объекта  $R_{C_{\max}}$  на основе сравнения ориентационных гистограмм к каждой точке  $P_2$  применяется преобразование поворота:

$$P'_2 = R_{C_{\max}} \cdot P_2 \quad (24)$$

где  $P'_2$  - массив трехмерных точек, соответствующий повернутым точкам  $P_2$ . В результате дискретные точечные представления  $P_1$  и  $P'_2$  имеют одинаковую угловую ориентацию, поэтому их взаимное положение определяется простым преобразованием:

$$P'_2 = P_1 + T, \quad (25)$$

где  $T = (T_x \quad T_y \quad T_z)^T$  - вектор переноса.

Пусть  $V_1$  - бинарное воксельное представление, вычисленное для объекта  $P_1$ , а  $V_2$  - для  $P'_2$ . Значение вектора сдвига  $T$  соответствует максимуму корреляционной функции для двух воксельных представлений :

$$G(\tau) = \int_{p \in R^3} V_1(p) \cdot V_2(p - \tau) dp \quad (26)$$

Формула (26) представляет собой интеграл свертки, который может быть вычислен с помощью традиционного 3D преобразования Фурье.

Для экспериментальных исследований использовались тестовые данные, которые включали в себя точечные модели различных реальных объектов сканирования. К тестовым данным не применялись никакие операции редактирования, фильтрации или очистки.

*Таблица 1. Описание тестовых наборов*

№	Описание	Количество точек в одной модели	Шаг сканирования, см	Количество моделей
1	Фасад церкви с колокольной	50 000	2.40	4
2.	Плоский фасад церкви с глубоким порталом	60 000	3.10	2
3.	Выпуклая гладкая поверхность, без ярких особенностей	75 000	0,25	2
4.	Скульптура на постаменте	45 000	3.00	4
5.	Две стороны	110 000	1.00	6

	фасада церкви с одним большим куполом, с деревьями на фоне			
6.	Широкий фасад замка, деревья	110 000	2.40	2

Для оценки результатов ориентирования тестовые точечные модели сначала приближенно ориентировались с помощью предложенной в данной работе методики. А затем, точное решение автоматически вычислялось в программе Trimble RealWorkSurvey версии 6.0. Важно отметить, что алгоритм автоматического ориентирования, заложенный в программе RealWorkSurvey требует ручного приближенного ориентирования точечных моделей путем указания трех соответствующих точек. Предложенная в данной работе методика позволяет исключить этап ручного указания пар точек и полностью автоматизировать этап взаимной ориентации. Результаты тестирования алгоритма приведены в таблице 5. Угол  $\alpha$  – результирующая оценка взаимного угла вокруг оси Z систем координат первой и второй дискретной точечной модели.

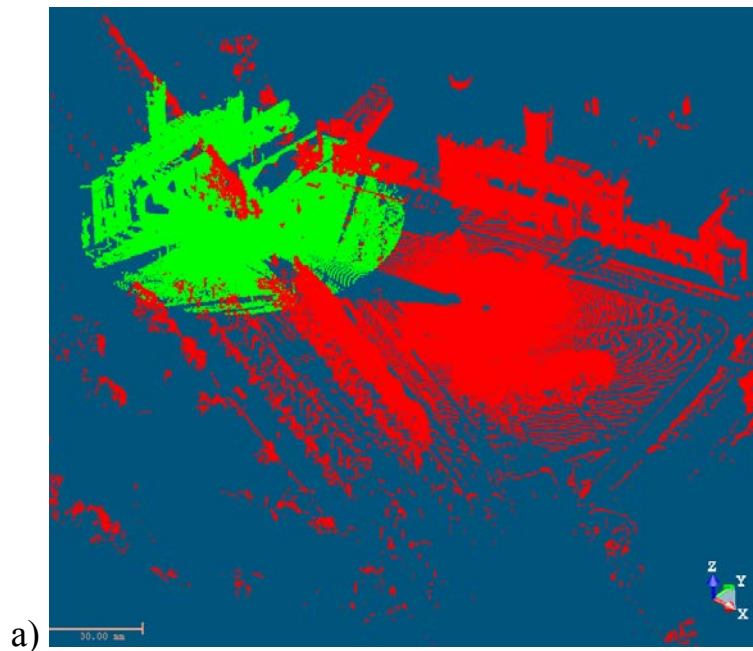
*Таблица 2. Результаты взаимной ориентации точечных моделей*

№	Название	$\alpha, ^\circ$	Время, с	Точность, см / кол-во точек
1	Церковь, город Вартбург	70	30	2.22 / 24569
2.	Церковь, город Вартбург (2)	-51	52	2.20 / 25189
3.	Готический собор	-73	33	5.10 / 23411
4.	Фарфоровая скульптура кошки	78	47	0,11 / 45913
5.	Скульптура льва в натуральную величину	-46	37	3.01 / 28943
6.	Скульптура льва в натуральную величину (2)	4	34	3.62 / 27812
7.	Скульптура льва в натуральную величину (3)	-10	41	3.26 / 29456
8.	Скульптура льва в натуральную величину (4)	128	34	3.47 / 31856
9.	Церковь Самарина	43	36	0,50 / 45259
10	Церковь Самарина (2)	39	43	0,71 / 49546

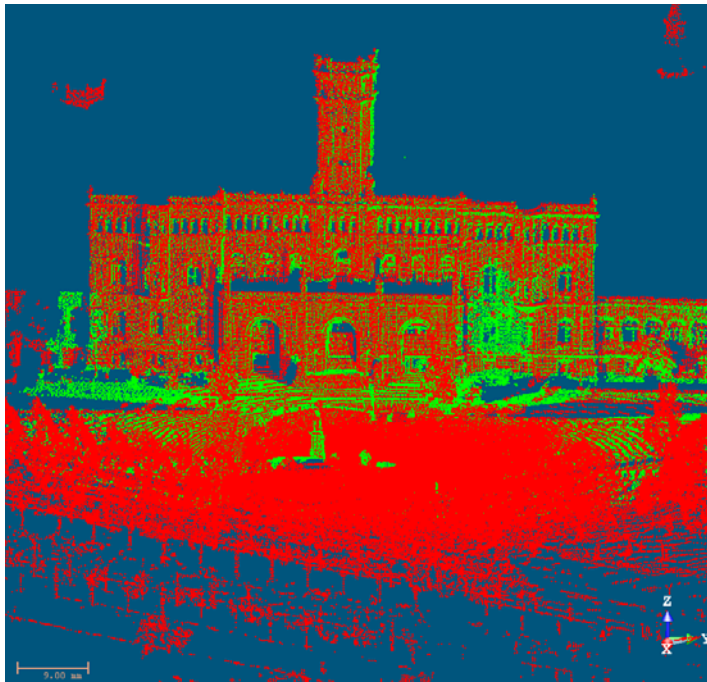
1 1	Церковь Самарина (3)	-115	30	0,43 / 39748
1 2	Замок Вельфеншлос	72	41	2.12 / 83443

Точность решения задачи оценивалась путем вычисления расстояний от точек первой точечной модели до ближайшей точки второй модели. В столбце 3 таблицы (5) приведено среднее расстояние между точечными моделями рассчитанное по указанному количеству точек.

На рисунке 5. показаны результаты взаимного ориентирования точечной модели замка Вельфеншлос.







б) *Рис. 4. Результаты взаимного ориентирования точечной модели замка Вельфеншлос. а) исходные неориентированные точечные модели б) результат автоматического приближенного ориентирования по предложенной методике*

При анализе результатов взаимного ориентирования дискретных точечных моделей можно использовать субъективную визуальную оценку. Такой подход позволяет быстро выявить грубые ошибки ориентирования, а также помогает оценить результат в случае симметричного объекта сканирования. В настоящее время производительность лазерных сканеров увеличивается с каждым годом. Современные наземные лазерные сканеры импульсного типа способны сканировать поверхность объекта со скоростью порядка 10 000 точек в секунду, а сканеры фазового типа – порядка 500 000 точек в секунду. Большинство существующих видео-карт широкого доступа могут отображать порядка 1-3 миллионов точек без ощутимых задержек. Однако, объемы данных, с которыми приходится сталкиваться на практике, существенно превышают указанный объем. Таким образом, на практике возникают трудности с быстрой визуализацией больших объемов точечных данных.

В рамках диссертационной работы был рассмотрен вопрос эффективной визуализации результатов лазерного сканирования, разработан и реализован алгоритм визуализации дискретных моделей.

Разработанный алгоритм визуализации позволяет:

1. быстро отображать данные при любых операциях навигации по сцене (масштабировании, вращении, сдвиге);
2. отображать каждую точку различным цветом в соответствии с любой дополнительной информацией (интенсивность отраженного сигнала, номер отклика и т.д.).

Основой созданной системы визуализации дискретных точечных моделей являются три составляющие:

- использование специальной структуры данных для хранения координат точек и связанной с ними информации;
- использование алгоритма отсечения невидимой части сцены
- генерализация данных.

### **Выводы и основные результаты**

В диссертационной работе решена задача автоматического взаимного ориентирования дискретных точечных моделей. В процессе изучения предметной области были выявлено, что существующие методики решения могут применяться при известных значениях начальных приближений параметров взаимного ориентирования, которые на практике неизвестны. Для решения данной проблемы была предложена методика решения задачи, основанная на использовании ориентационных гистограмм и воксельных моделей. Была создана эффективная реализация предлагаемой методики, которая показала надежные результаты на многих реальных тестовых данных. Кроме того, предлагаемая методика была протестирована на данных, официально рекомендованных к проверке автоматических алгоритмов взаимного ориентирования международным обществом фотограмметрии и дистанционного зондирования. Результаты экспериментов на этих данных показали высокую эффективность и точность решения поставленной задачи.

В рамках диссертационной работы был также рассмотрен вопрос эффективной визуализации больших дискретных точечных моделей. Была разработана эффективная методика визуализации данных, которая позволяет динамически выполнять генерализацию и отсечение невидимой части сцены в процессе отображения. Практические эксперименты показали, что предлагаемая методика визуализации позволяет отобразить модели из десятков миллионов точек без ощутимых временных задержек. Данная методика нашла применение в инженерном программном обеспечении, применяемом на производстве.

В диссертационной работе решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ существующих методов автоматической взаимной ориентации дискретных точечных моделей, который показал неустойчивость существующих методов в решении задачи при отсутствии приближенных значений элементов взаимного ориентирования.
2. Разработан алгоритм автоматического взаимного ориентирования дискретных точечных моделей, основанный на использовании ориентационных гистограмм и воксельных представлений точечных моделей.
3. Создано программное обеспечение, обеспечивающее практическую возможность решения задачи по предложенной методике.
4. Выполнены многочисленные экспериментальные исследования предложенной методики автоматического ориентирования дискретных точечных моделей. Результаты исследования показывают высокую эффективность и надежность решения задачи.
5. Разработано программное обеспечение, позволяющие быстро и качественно визуализировать дискретные модели из десятков миллионов точек.

### **Публикации по теме диссертации**

1. Чибуничев А.Г., Велижев А.Б., Автоматическое определение взаимной ориентации трехмерных моделей объектов, полученных по результатам лазерного сканирования, «Геодезия и аэрофотосъемка», Москва, 2007, № 1, стр. 127-134.
2. Чибуничев А.Г., Велижев А.Б., Автоматическое сопоставление облаков точек, полученных в результате наземного лазерного сканирования, с использованием ориентационных гистограмм, «Геодезия и аэрофотосъемка», 2008, Москва, №3, стр. 112-119
3. Велижев А.Б., Визуализация результатов лазерного сканирования, "Инженерные изыскания", 2008, №2, стр. 94-95
4. A. Chibunichev, A. Velizhev, "Automatic Matching of Terrestrial Scan Data Using Orientation Histograms", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, Vol. XXXVII. Part B5, Beijing, p.601-604