На правах рукописи

Альфарес Мухаммад Абдульмунеам

Разработка и исследование фотограмметрических методов определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов

Специальность: 25.00.34

Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена на кафедре фотограмметрии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК).

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Михайлов Александр Павлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Черний Александр Николаевич
кандидат технических наук,
Бруевич Павел Николаевич

Ведущая организация: Центральный научно- исследовательский институт геодезии, аэрофотосъёмки и картографии «ЦНИИГАиК»

Защита диссертации состоится «___» «_____» 2010 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д. 212.143.01 в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, Москва, Гороховский переулок, 4. (Зал заседаний Ученого Совета)

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

Автореферат разослан «____» «_____» 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Б.В. Краснопевцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Во многих областях науки и практической деятельности, в частности в медицине, возникает задача определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов. Разработанные до настоящего времени методы определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов не отвечают современным требованием, так как либо дают крайне скудную информацию, хотя и очень простыми методами, либо требуют значительных временных затрат на проведение измерений с помощью дорогого оборудования и обработку полученных в результате этих измерений данных.

Таким образом, очевидна актуальность разработки, такого метода определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов, который обладает высокой оперативностью, достаточной точностью и относительно невысокой стоимостью. Разработанный метод, кроме того, должен быть безопасен для исследуемого объекта.

Всем этим требованиям отвечают фотограмметрические методы, но специфика определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов обусловила необходимость проведения исследований, направленных на разработку методов и технологий стереофотограмметрической съемки, применимых для съемки живого объекта.

Цель и задачи.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование оптимальных фотограмметрических методов и технологий определения характеристик поверхности биологических объектов с использованием

недорогих цифровых фотокамер и широко распространенных в России фотограмметрических систем для цифровой обработки фотоснимков.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

1. Проведены исследования возможности применения методов стереофотограмметрии для определения рельефа поверхности различных объектов, на основании которых предложены фотограмметрические методы и технологии определения характеристик поверхности биологических объектов;
2. Проведены исследования влияния нестабильности поверхности биологического объекта на точность определения ее геометрических характеристик при проведении стереофотограмметрической съемки;
3. Разработан метод количественной оценки асимметрии рельефа поверхности биологического объекта - тела человека по результатам стереофотограмметрической съемки.

Научная новизна. Основные результаты диссертационной работы, представляющие научную новизну и выносимые на защиту:

1. Разработка и обоснование методов и технологий стереофотограмметрической цифровой съемки поверхности биологических объектов.
2. Разработка метода количественной оценки асимметрии рельефа поверхности биологического объекта - тела человека по результатам стереофотограмметрической съемки.

Практическое значение работы.

Разработанные методы и технологии фотограмметрической цифровой съемки биологических объектов, позволяют их использование в различных сферах деятельности, связанных с изучением биологических объектов, в частности, в медицине для диагностики и мониторинга состояния больных сколиозом. Этому способствуют те обстоятельства, что разработанные

методы и технологии могут быть реализованы с применением недорогих цифровых съемочных камер и стандартных программных комплексов для цифровой фотограмметрической обработки снимков, широко распространенных в России. Разработанные методы и технологии получили положительную оценку при его апробации в интернате № 76 г. Москвы при обследовании детей с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Апробация работы. Основные результаты работы по теме диссертации докладывались и обсуждались на 68-ой (апрель, 2008) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК.

Публикации.

По результатам выполненных исследований по теме диссертации автором опубликованы две статьи.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Материал работы изложен на 111 страницах машинописного текста, содержит 12 таблиц, 38 рисунков, 8 приложений. Список литературы состоит из 43 наименований, из них 16 на иностранных языках, 10 интернет - источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой части работы обоснована актуальность решаемой задачи, сформулированы цель и задачи исследования.

В результате изучения различных информационных источников приведены данные о существующих методах и технологиях определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов и выявлены их достоинства и недостатки, в том числе:

- рентгенологических методов (рентгенография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография);
- ультразвукового метода;
- метода муаровой топографии;
- растровой стереосъемки;
- лазерного сканирования;
- стереофотограмметрического метода.

На основе анализа рассмотренных методов и технологий показано, что наиболее эффективным из рассмотренных методов является стереофотограмметрический метод, так как этот метод:

- является бесконтактным и в отличие от рентгеновских методов абсолютно безопасным для человеческого организма;
- безопасность этого метода позволяет проводить повторные съемки с любым интервалом времени;
- позволяет построить трехмерную математическую модель поверхности всего биологического объекта, а не только его фрагментов;
- позволяет выполнить съемку поверхности биологического объекта с очень высокой точностью (до десятых долей мм);
- может быть реализован с применением недорогого оборудования.

Во второй части работы приведено описание разработанных методов и технологий определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов и результаты их экспериментальных исследований.

Специфика определения геометрических параметров поверхности биологических объектов обуславливает необходимость проведения исследований, направленных на разработку и экспериментальную проверку методов стереофотограмметрической съемки, оптимально решающих поставленную эту задачу. Разработанные методы должны быть основаны на применении для съемки недорогих любительских цифровых фотоаппаратов и

стандартных цифровых фотограмметрических систем для обработки полученных цифровых снимков.

Так как тело биологического объекта является не статичным, необходимо было изучить нестабильность поверхности тела объекта с целью определения необходимой точности синхронизации срабатывания затворов фотокамер при получении стереопар снимков этого объекта. Исследование проводилось по известному в фотограмметрии методу “псевдопараллаксов”, в котором сравниваются изображения одноименных точек объекта исследования на разновременных снимках, полученных при одинаковых значениях элементов внешнего ориентирования. В качестве биологического объекта при проведении исследований был выбран человек.

На поверхность грудной клетки тела обследуемого наклеивались маркированные точки. При общем их количестве 40 шт., 15 из которых находились на тест – объекте, а 25 – на теле обследуемого. Картина размещения маркированных точек на теле обследуемого представлена на рис.1.

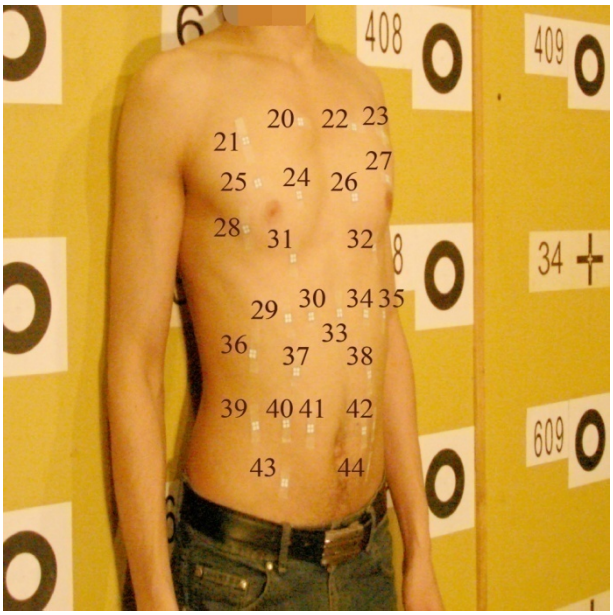


Рис.1. Схема размещения маркированных точек

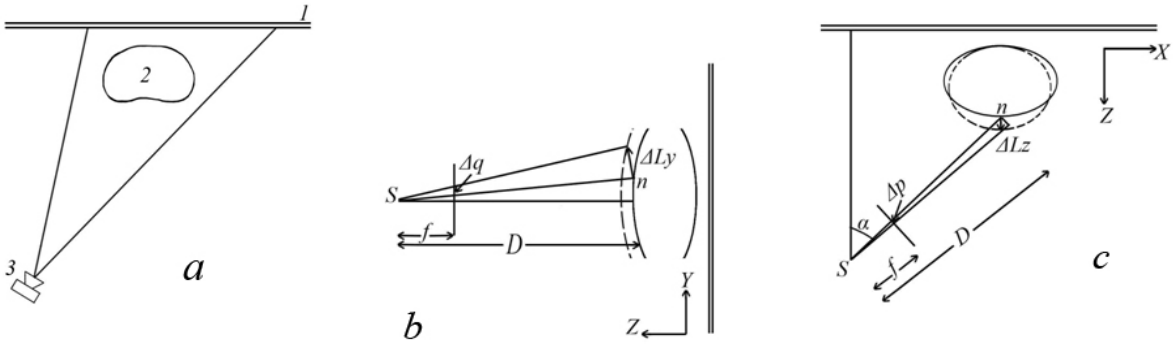


Рис.2. Блок-схема установки проведения съемки и схема расчета смещений точек

С целью определения величины смещения точек поверхности тела, обусловленного его дыханием за время фотосъемки, фотокамера помещалась под углом около 40 градусов к поверхности грудной клетки объекта. Блок-схема установки проведения съемки и метод определения смещения маркированных точек поверхности торса обследуемого за время съемки приведены на рис(2.а), где на фоне тест-объекта (1) в непосредственной близости от него располагался исследуемый объект (2). Фотокамера (3) размещалась на расстоянии 190 см от объекта и на высоте 130 см от пола. Угол оптической оси фотоаппарата по отношению к плоскости тест – объекта составлял 40 град. в горизонтальной плоскости.

Значения смещений точек поверхности тела ΔL определяются по формулам:

$$\Delta Lz = \frac{D * \Delta P}{f * SIN\alpha}, \; \Delta Ly \cong \frac{D * \Delta q}{f}$$

где : D – расстояние от оптического центра фотоаппарата до точки на поверхности объекта; f - фокусное расстояние, ΔP- разность координат изображения соответственных точек вдоль оси x, Δq разность координат изображения соответственных точек вдоль оси y, угол α указан на рис (2.с).

Проведенные расчеты позволили получить не только величины случайных смещений в системе «фотоаппарат - тест–объект», но и смещений на изображении торса пациента.

Значения параллаксов выбранных точек на тест- объекте приведены в таблице 1.

Таблица 1

данные точек на тест – объекте		
№	Δp(пиксель)	Δq(пиксель)
1	0.10	0.00
2	-0.10	-0.30
3	-0.30	-0.10
4	0.40	0.00
5	-0.50	0.05
6	-0.30	-0.10
7	0.00	0.20
8	-0.20	0.20
9	0.00	0.00
10	0.20	0.00
11	0.00	0.10
12	-0.20	0.20
13	0.04	-0.10
14	0.50	-0.50
15	0.00	-0.10
m	0.22	0.18

Сравнительный анализ данных таблицы 1 показал, что разность координат изображения точек тест-объекта на разновременных снимках не превышает точности измерений координат точек изображений, что свидетельствует о постоянстве положения и ориентации съёмочной камеры при получении разновременных снимков. Значения смещений всех точек на теле пациента приведены в таблице 2.

Таблица 2

смещения точек на теле объекта				
№	*Δp(пик)*	*Δq(пик)*	*ΔLz(mm)*	*ΔLy(mm)*
20	1.40	0.70	1.15	0.58
21	0.40	1.30	0.33	1.07
22	1.30	0.20	1.07	0.17
23	-0.10	0.10	-0.08	0.08
24	0.60	1.40	0.49	0.15
25	-0.20	0.80	-0.17	0.66
26	1.60	0.40	1.32	0.33
27	1.70	-0.20	1.40	-0.17
28	0.30	0.60	0.25	0.49
29	0.50	-0.40	0.41	-0.33
30	0.00	0.50	0.00	0.41
31	0.50	0.50	0.41	0.41
32	1.10	0.00	0.91	0.0
33	1.30	0.80	1.07	0.66
34	1.30	0.50	1.07	0.41
35	0.80	-1.50	0.66	-1.24
36	0.60	-0.30	0.49	-0.25
37	-0.30	1.10	-0.25	0.91
38	0.20	-0.40	0.17	-0.33
39	-0.30	0.50	-0,25	0.41
40	-1.10	0.80	-0.91	0.66
41	-0.80	-0.40	-0.66	-0.33
42	-0.60	-0.50	-0.49	-0.41
43	-1.10	0.60	-0.91	0.49
44	-0.90	-1.80	-0.74	-1.48
ΔLmax			1.40	-1.48
m	0.90	0.80	0.74	0.65

Данные таблицы 2 показывают, что среднеквадратичное отклонение смещений точек по осям X и У на поверхности тела лежат в пределах 0,65-0,74 мм при максимальных значениях смещений точек тела обследуемого 1,5мм. Учитывая, что при проведении исследований поверхности тела человека с целью диагностики и мониторинга течения сколиоза достаточно определить положение точек на поверхности с точностью около 3 мм, можно сделать вывод, что ошибка синхронизации срабатывания затворов объективов нескольких цифровых фотоаппаратов не должна превышать

величины 3 секунд. Как показала практика, ошибка в синхронизации срабатывания затвора при нажатии клавиши спуска затвора по команде двумя операторами вручную не превышает 1 с, и таким образом возможна съёмка без специальных устройств для синхронизации съёмочных камер.

При проведении стереофотограмметрических съемок были использованы три недорогие бытовые цифровые фотокамеры: трехмегапиксельная камера «Olympus» и две идентичные семимегапиксельные камеры «Sony DSC-W35», которые предварительно были подвергнуты процедуре фотограмметрической калибровки по методике, разработанной на кафедре фотограмметрии МИИГАиК. Результаты фотограмметрической калибровки фотокамер приведены в таблице 3.

Табл. 3. Параметры фотограмметрической калибровки цифровых камер

Параметры	Значение параметра		
	Olympus	Sony DSC-W35	Sony DSC-W35
f (пикс.)	2101,8	3463,5	3482,2
x_0 (пикс.)	994,7	1540,1	1544,0
y_0 (пикс.)	809,0	1100,3	1138,1
Фотограмметрическая	$DR = A1 \cdot R^3 + A2 \cdot R^5$		
A1	-3.26E-8	-5.6617E-9	-4.5899E-9
A2	4.59E-15	-1.0494E-15	-1.3398E-15

Для обеспечения возможности облегчения наблюдения и измерения стереопар снимков оператором и автоматического измерения координат точек на поверхности тела в данной работе предложено предварительно, перед съемкой, наносить на тело обследуемого человека легкосмываемым красителем горизонтальные линии, на которые наносятся поперечные штрихи. В результате применения данного приема, позволившего преодолеть проблему малой контрастности фотоизображений тела и слабой контурности его поверхности. На рис. 3, представлен снимок тела с нанесенными линиями и штрихами.

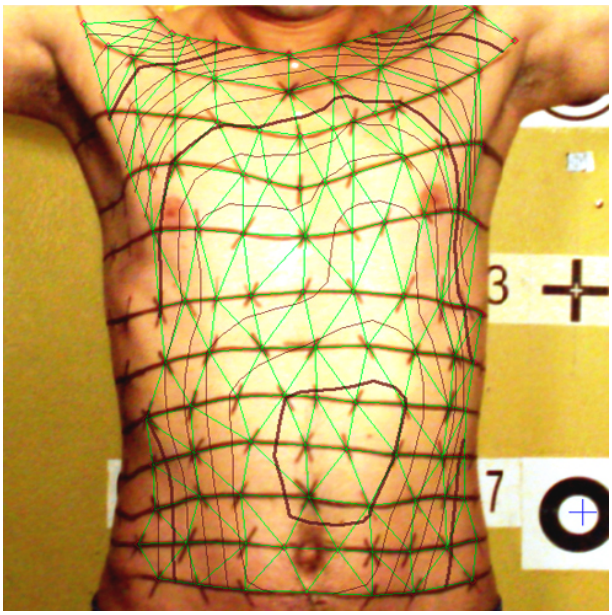


Рис. 3

В большинстве случаев практики при исследовании биологических объектов необходимо съемка всей поверхности. Ранее такая съемка проводилась двумя основными методами.

Первый из таких методов заключается в съёмке объекта с помощью зеркал, схема которого представлена на рис.4.

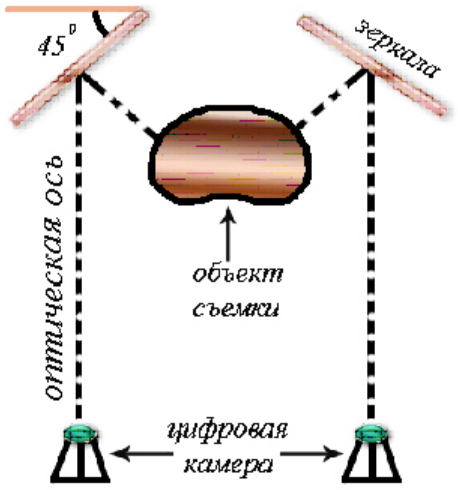


Рис.4. Съёмка объекта с помощью зеркал

Недостатками этого метода, особенно при съемке тела человека, является необходимость использования дорогостоящих зеркал большого размера с внешним серебрением и невозможность качественной съемки боковых частей торса.

В другом методе съемки, представленном на рис.5, фотографирование производится четырьмя парами цифровых фотокамер, оптические оси которых развернуты относительно друг друга на 90 ^{o}.

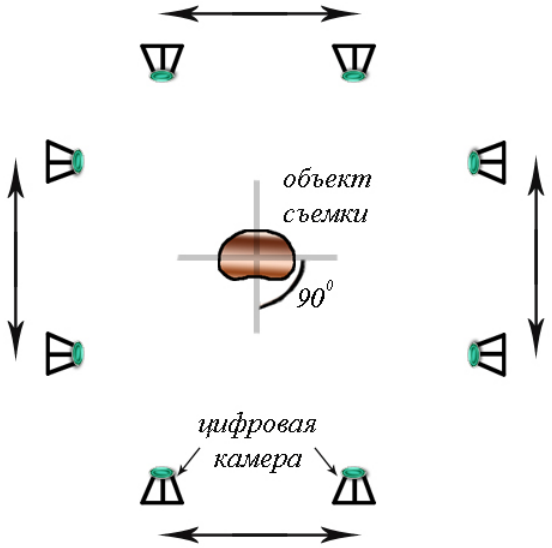


Рис. 5. Съёмка объекта с помощью четырех пар цифровых фотокамер

В этом варианте в результате съёмки получаются четыре стереопары объекта, развернутые в горизонтальной плоскости относительно друг друга на 90^{o}. Недостатком рассматриваемого метода является необходимость определения элементов внешнего ориентирования каждой из стереопар, так как построение сети фототриангуляции из этих стереопар практически невозможно из-за малой зоны перекрытия этих стереопар и разных ракурсов объекта на стереопарах снимков.

Этих недостатков лишен предложенный нами метод круговой съемки объекта. В этом методе цифровые камеры располагаются на окружности, а их оптические оси горизонтальны и направлены в центр этой окружности (рис.6).Угол между оптическими осями фотокамер могут лежать в пределах от 22,5^{o} до 45^{o}. Стереопары снимков, образующие замкнутый маршрут, в этом методе съёмки формируются из смежных снимков. Фотограмметрическая обработка снимков получаемого маршрута производится по стандартной методике, аналогичной обработке снимков аэрофотосъемочного маршрута.

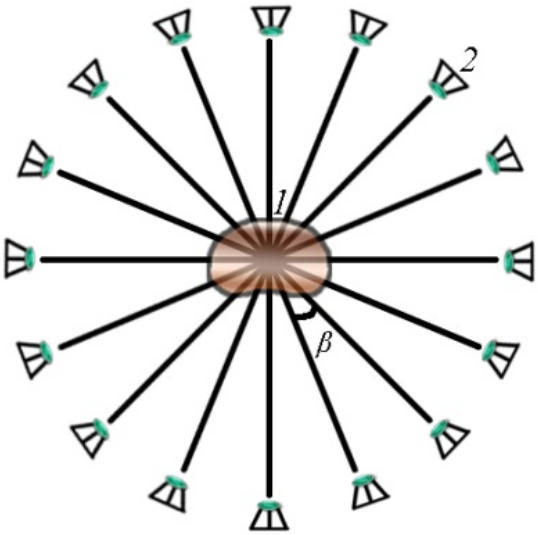


Рис. 6. Метод круговой съемки**:** 1-объект съемки, 2- цифровая камера

Как показал практический опыт, при угле между оптическими осями фотокамер равном $22{,}5^{o}$–30^{o} градусов, выполнение фотограмметрической обработки и стереонаблюдение конвергентных стереопар не вызывает никаких затруднений. При углах между оптическими осями более 30^{o} целесообразно для фотограмметрической обработки снимков стереопар выполнять их предварительное цифровое трансформирование в стереопары снимков, близких к нормальному случаю съемки. Такой подход к фотограмметрической обработке снимков реализован в цифровой фотограмметрической системе «Z-Proxima1.0», разработанной специалистами кафедры фотограмметрии МИИГАиК и ГосНИИАС.

С целью отработки предложенного метода съемки было произведено моделирование съёмки цифровой фотограмметрической камерой «Olympus» с размером ПЗС-матрицы 2048×1536 пикселей (рис.7). При моделировании объектом съёмки был выбран гипсовый слепок торса больного сколиозом. Гипсовый слепок устанавливался на вращающееся вокруг вертикальной оси основание на расстоянии 0,65 м от объектива цифровой камеры. Стереопары снимков получались последовательно при повороте объекта съёмки на угол $\beta \approx 22{,}5^{o}$.

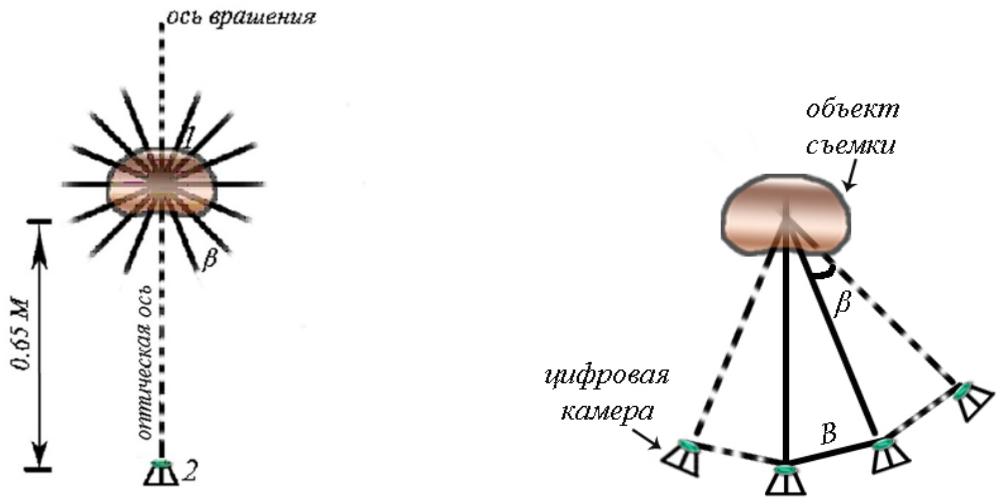


Рис. 7. Схема формирования маршрутной съёмки

В этом случае вокруг объекта формируется маршрут, состоящий из стереопар снимков конвергентного случая съёмки. Значение базиса фотографирования для каждой стереопары составил величину 0,26 м.

Значение базиса определяется по формуле:

$B = 2 \cdot Z \cdot tg\left(\frac{\beta}{2}\right)$, в которой:

β - угол между оптическими осями камер, Z - расстояние от центра фотографирования до оси вращения объекта.

В результате проведённой съёмки было получено 16 перекрывающихся снимков, 3 из которых в качестве примера представлены на рис. 8.

Рис. 8.

По полученным снимкам произведено построение сети маршрутной фототриангуляции на ЦФС “PHOTOMOD” На каждой из 16 стереопар

измерялось не менее 19 точек, которые являлись связующими точками между смежными стереопарами. Внешнее ориентирование сети производилось по шести опорным точкам. Эти точки участвовали во внешнем ориентировании дважды, так как они располагались на первой и последней стереопарах маршрута. Таким образом, они были равносильны 12 опорным точкам. Результаты построения сети фототриангуляции приведены в таблицах 4 и.5.

Таблица 4. Оценка точности построения сети маршрутной триангуляции по опорным точкам (всего 12 точек)

	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)
Ср. кв. отклонение	0,34	0,69	0,31
Максимальное отклонение	0,66	0,98	0,71

Таблица 5. Оценка точности построения сети маршрутной триангуляции по связующим точкам (всего 139 точек)

	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)
Ср. кв. отклонение	0,31	0,47	0,11
Максимальное отклонение	1,32	1,85	0,45

После построения маршрутной фототриангуляции в модуле “DTM” цифровой фотограмметрической системы “PHOTOMOD” было произведено построение цифровой модели рельефа объекта (ЦМР) в пределах каждой из стереопар в модуле “DTM” в виде триангуляции Делоне. По построенным ЦМР в пределах каждой стереопары были получены горизонтальные сечения объекта. На рис .9. представлен фрагмент ЦМР объекта съёмки, построенный в виде триангуляции Делоне и в виде горизонтальных сечений, построенных по ЦМР.

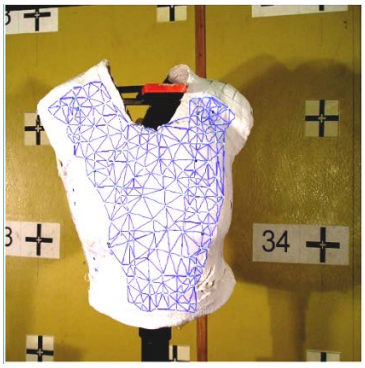


Рис.9

В системе AutoCad фрагменты горизонтальных сечений, построенные по каждой стереопаре, были объединены в единую систему. Изометрическая проекция горизонтальных сечений объекта приведена на рис.10.

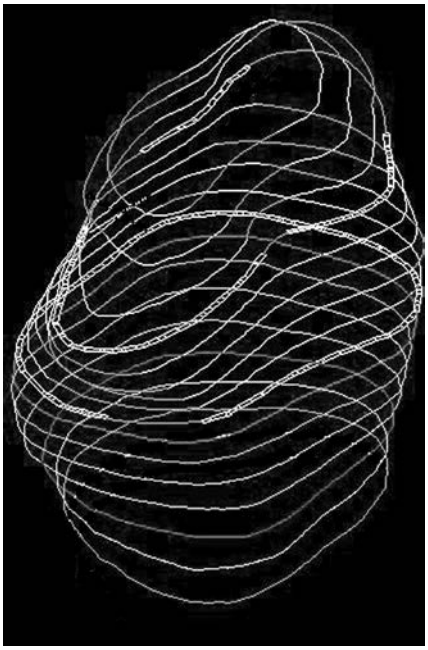


Рис. 10. Изометрия торса больного.

Разработанные в настоящей работе, методы и технологии определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов апробировались как метод выявления и мониторинга развития сколиоза.

На основе полученных в результате стереофотограмметрической съемки данных о рельефе тела предлагается ввести показатель нарушения осанки как отношение высот рельефа точек поверхности тела, равноудаленных от позвоночника вправо и влево на разных его уровнях. Для

облегчения восприятия нарушения симметрии спины больных с нарушениями осанки (вплоть до сколиоза разных степеней) предложено построение цветового варианта изображения рельефа поверхности человеческого тела.

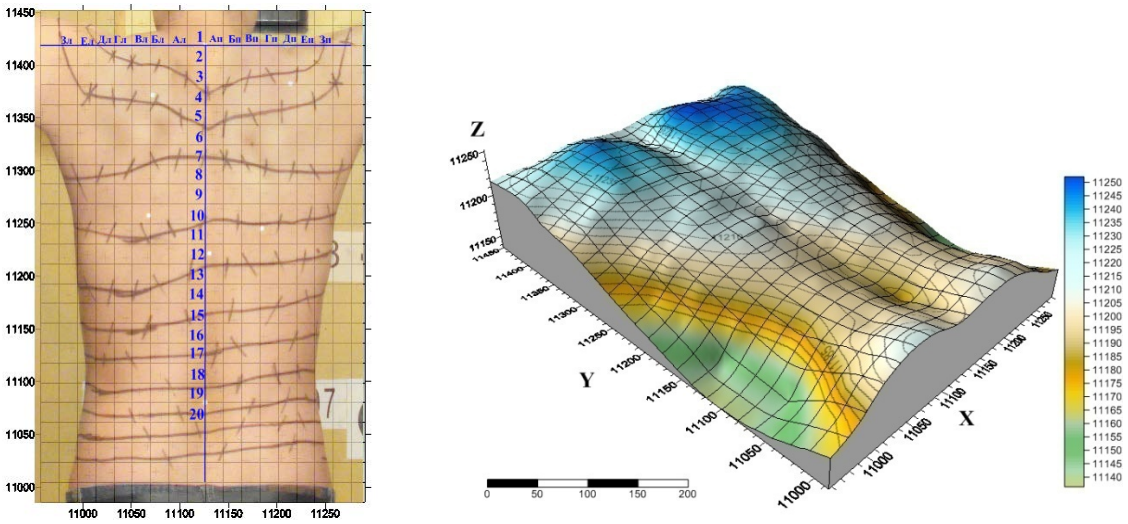
Для наглядности и удобства расчета показателя право-левосторонней асимметрии, то есть коэффициента асимметрии (КА), торса (в том числе и для больных) на изображение цветного рельефа поверхности тела накладывалась координатная сетка с осью координат, проходящей через 7-ой отросток позвоночника, ориентированной по вертикали.

В диссертационной работе произведено исследование оценки коэффициентов асимметрии тела (спины) на разных уровнях позвоночника для разных степеней нарушения осанки, в том числе:

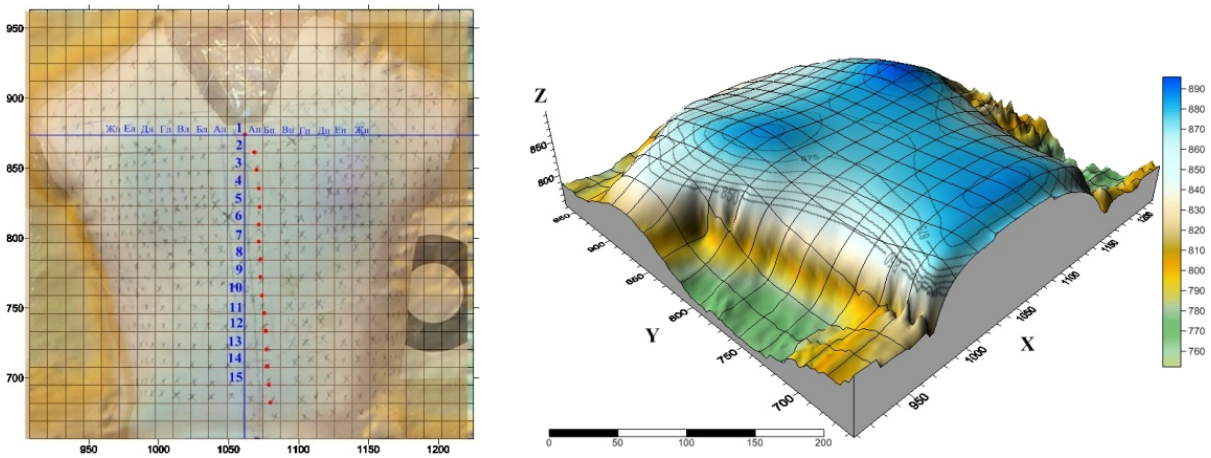
- нормальная осанка тела;
- тела детей с первой и четвертой степенями сколиоза;

В работе рассматривается возможность применения предлагаемого метода оценки нарушения осанки у детей при ношении больным ребенком жесткого корсета. Результат от ношения ребенком корсета выявляется врачами не ранее, чем через 3-5 месяцев после его установки. Поэтому представляет интерес оценить ожидаемое изменение рельефа спины по гипсовому слепку торса ребенка, необходимого для изготовления корсета. Такой подход позволил бы скорректировать форму корсета существенно раньше принятого срока.

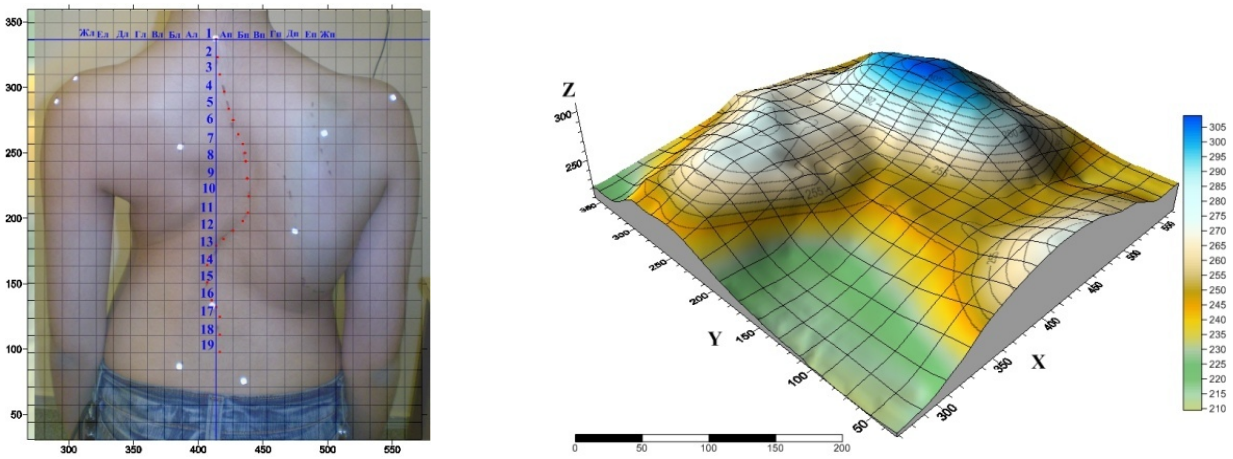
Фотоснимок спины одного из обследуемых, как и изображение рельефа спины, представлены на рис.11.



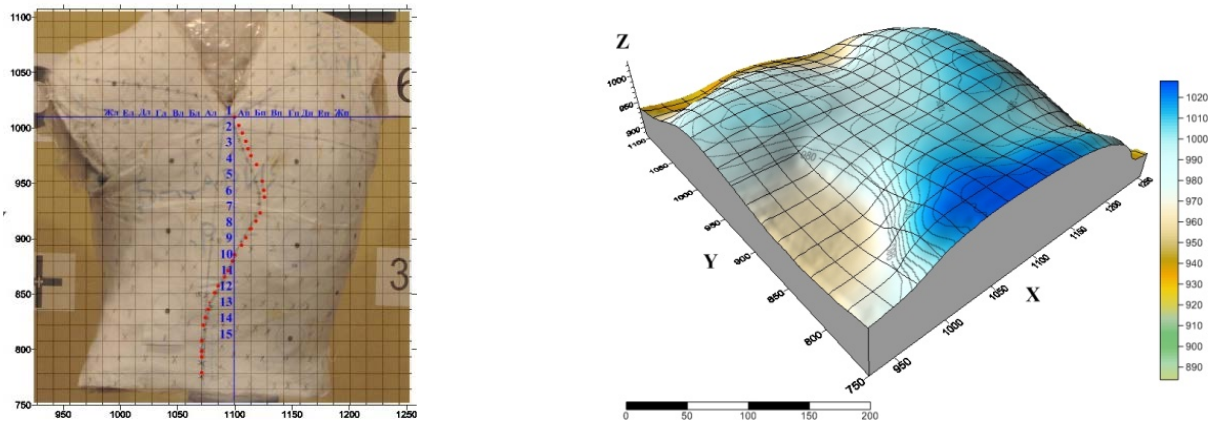
Нормальная осанка тела



Слепок ребенка первого степени сколиоза



Четвертая степень сколиоза живого объекта



Слепок четвертой степени сколиоза

Рис.11

Для наглядности на рис.12, приведен вариант графического изображения распределения коэффициента асимметрии право-левосторонних величин рельефов спин.

КА

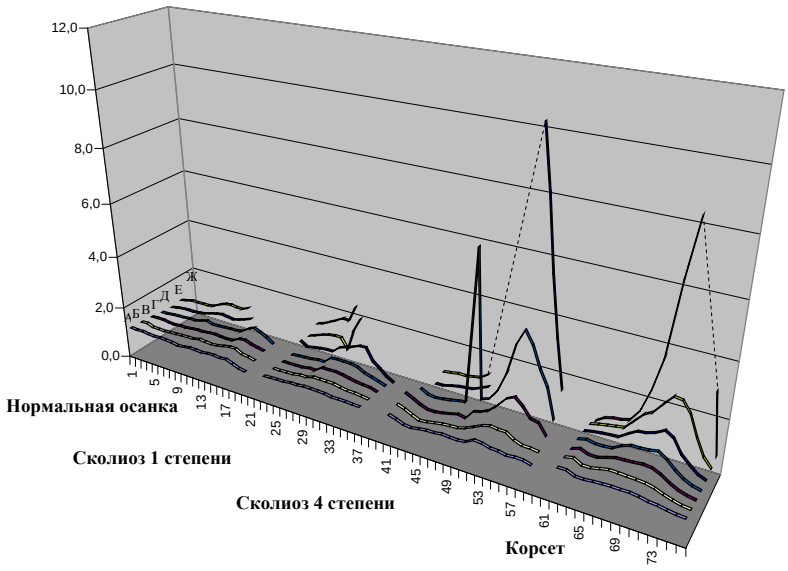


Рис.12.

Распределение коэффициента асимметрии право-левосторонних величин рельефов.

Проведенный анализ результатов показал что:

- коэффициент асимметрии тем меньше (и ближе к 1), чем пара точек ближе к позвоночному столбу;
- при развитии сколиоза заметно расширяется диапазон значений КА, изменяясь от 1 до 10 и более;

- величины отклонений показывают, сколь велико искривление позвоночника на каждом из заданных уровней, а изменение знака этих отклонений подчеркивает, что искривление позвоночника имеет “S” – образный характер;
- величины КА для корсета заметно меньше, чем в случае живого объекта;
- в настоящее время современными методами невозможно заранее оценить вклад данного типа корсета в процесс коррекции формы позвоночника.

Основными теоретическими и практическими результатами работы являются:

1. В результате проведенного изучения и анализа существующих методов определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов, применяемых в настоящее время, сделан вывод, что для определения параметров поверхности биологического объекта наиболее оптимальным является стереофотограмметрический метод. Стереофотограмметрический метод в отличие от других рассмотренных методов при высокой точности определения параметров поверхности является оперативным методом и может быть применен для мониторинга изменения параметров поверхности биологических объектов.

2. На основе проведенных в диссертационной работе теоретических и экспериментальных исследований разработаны метод и технология стереофотограмметрической съемки поверхности биологических объектов, основанные на использовании недорогих любительских цифровых фотокамер и широко распространенных в России для фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки цифровых фотограмметрических систем.

3. Экспериментальная проверка разработанных метода и технологии подтвердила эффективность этого метода.

4. На основе разработанных метода и технологии стереофотограмметрической съемки поверхности биологических объектов предложен новый метод количественной оценки асимметрии рельефа спины больных сколиозом путем определения коэффициента асимметрии высот рельефа правой и левой сторон спины по результатам стереофотограмметрической обработки стереопар снимков больного. Этот метод получил положительную оценку при его апробации в интернате № 76 г. Москвы при обследовании детей с заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Основное содержание диссертационного исследования автора отражено в следующих публикациях

1. Альфарес Мухаммад Исследование стабильности поверхности тела больного при проведении стереофотограмметрической съемки.//Известия Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2008, № 5, Москва, с. 60-62.

2. Альфарес Мухаммад Применение стереофотограмметрического метода для определения рельефа поверхности тела больных сколиозом.//Известия Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2008, № 6, Москва, с. 48-53.