

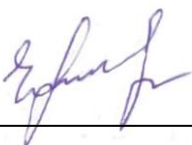
Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ  
АКАДЕМИЯ» (ФГБОУ ВПО «СГГА»)

Кафедра фотограмметрии  
и дистанционного зондирования

**КОНКУРС ПРОЕКТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ PHOTOMOD 5 LITE**

**ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ И ПРАВИЛЬНОСТИ РАБОТЫ  
АЛГОРИТМОВ, ЗАЛОЖЕННЫХ В СОВРЕМЕННЫЕ ЦФС НА  
ПРИМЕРЕ ЦФС PHOTOMOD**

аспирант каф. фотограмметрии и ДЗ



/Червова А.Е./

Научный руководитель, к.т.н.,  
доцент каф. фотограмметрии и ДЗ



/Коркин В.С./

Новосибирск 2013

Целью данного проекта является проверка точности и правильности работы алгоритмов, заложенных в современные ЦФС на примере ЦФС Photomod.

### **Описание исходных данных.**

Исходными данными данного проекта являлся маршрут битовых макетных снимков (5 снимков). Они могут быть использованы для быстрой оценки правильности работы алгоритма ЦФС Photomod.

Битовые макетные снимки - снимки представляют собой поля цифровых изображений с замаркированными точками в среде растрового редактора Photoshop. Оценка точности измерений производится только в замаркированных точках. Координаты точек вычисляются с использованием аналитических зависимостей координат точек снимка и местности с последующим переводом в систему координат цифрового изображения. Обычно точность таких изображений ограничена из-за целого представления координат точек, но в данном проекте применялся алгоритм нанесения и измерения точек с подпиксельной точностью, поэтому итоговые результаты получены с высокой точностью.

Недостатками этих макетов является отсутствие стереоэффекта. Преимущество заключается в простоте создания и малом размере готовых файлов.

Битовые макетные снимки, использованные в данном проекте, были созданы с помощью авторской программы ARSMARS1.exe и имеют следующие исходные данные:

1. формат каждого снимка –  $32800 \times 32800$  пикселей;
2. пространственное разрешение – 5 мкм;
3. элементы внутреннего ориентирования –  $x_0=0, y_0=0, f=100$  мм
4. элементы внешнего ориентирования:

	$X_s$	$Y_s$	$Z_s$	$\alpha$	$\omega$	$\chi$
P_1	550	905	900	0,3	0,1	0,2
P_2	990	907	903	0,2	0,2	0,1
P_3	1430	895	901	0,1	0,2	0,1
P_4	1870	901	895	0,2	0,1	0,3
P_5	2310	904	902	0.1	0.2	0.2

5. продольное перекрытие – 60%.
6. количество замаркированных точек – по 2 точки в каждой стандартной зоне на каждом снимке – всего 30.

### **Конфигурация аппаратных средств.**

- Процессор Athlon64x2 5600+ (2.8GHz),
- Оперативная память 4Gb,
- Жёсткий диск 500Gb,

- Видеокарта Nvidia Quadro FX570 256Mb,
- Стереомонитор LC-Reflex 2002 20”

## **Описание технологии.**

### Моделирование маршрута макетных снимков.

Программа ARSMARS1.exe осуществляет аналитическое моделирование макетных снимков. При создании маршрута, моделирование осуществляется следующим образом:

1. создается файл исходных данных: элементы внутреннего и внешнего ориентирования, размеры снимков, продольное перекрытие;
2. в соответствии с выбранным форматом снимков, на аналитическом макете левого снимка создается сетка с равным шагом (например, 5 миллиметров), осуществляется переход в систему координат цифрового снимка;
3. для каждого узла сетки сначала необходимо определить геодезические координаты, используя ЦМР, а затем плоские координаты на правом снимке (используется метод обратного трассирования – терминология компьютерной графики);
4. для точек, попадающих зону тройного перекрытия (связующие точки) необходимо определить плоские координаты на третьем снимке.

Результатом работы программы ARSMARS1.exe является файл плоских и геодезических координат точек левого и правого снимка стереопары и файл плоских координат связующих точек на третьем снимке. Также можно вывести файл исходных данных и файл, содержащий координаты координатных меток.

Полученный маршрут битовых макетных снимков является аналитическим. Все данные для контроля их правильности были дополнительно проверены в аналитической программе.

Для получения цифровых макетных снимков необходимо создать цифровое изображение в соответствии с выбранным форматом и нанести полученные точки (2 – 3 точки в каждой стандартной зоне). Проведенные исследования показали, что при измерении координат точек на макетных снимках, нанесенных с округлением до целого пиксела, возникает ошибка, величина которой составляет больше, чем допустимое значение. Для повышения точности при нанесении точек на цифровое изображение использовался алгоритм нанесения координат координатных меток и точек на макетных снимках с подпиксельной точностью.

### Алгоритм нанесения координат координатных меток и точек на макетных снимках с подпиксельной точностью.

Несение координат точек осуществлялось в редакторе Photoshop. Данный программный продукт дает возможность нанесения значений с

точностью, равной целому пикселу. Поэтому при маркировке использовалась марка не в виде обычного креста с толщиной линий, равной одному пикселу, а «двойной крест». Под термином «двойной крест» мы понимаем следующее: в дополнение к обычному кресту черного цвета необходимо нанести дополнительный серый цвет, расположение которого зависит от значения дробной части координат конкретной точки, т.е. этот крест наносится с той стороны от обычного креста, в которую по геодезическому правилу необходимо округлить данную координату. В зависимости от того, где располагается дополнительный крест, в ту четверть пиксела и необходимо наводится при обработке макетных снимков на ЦФС. Для увеличения точности наведения так же можно нанести цифровые значения дробной части координаты. Визуально «двойной крест» с подписанными осями представлен на рисунке 1.

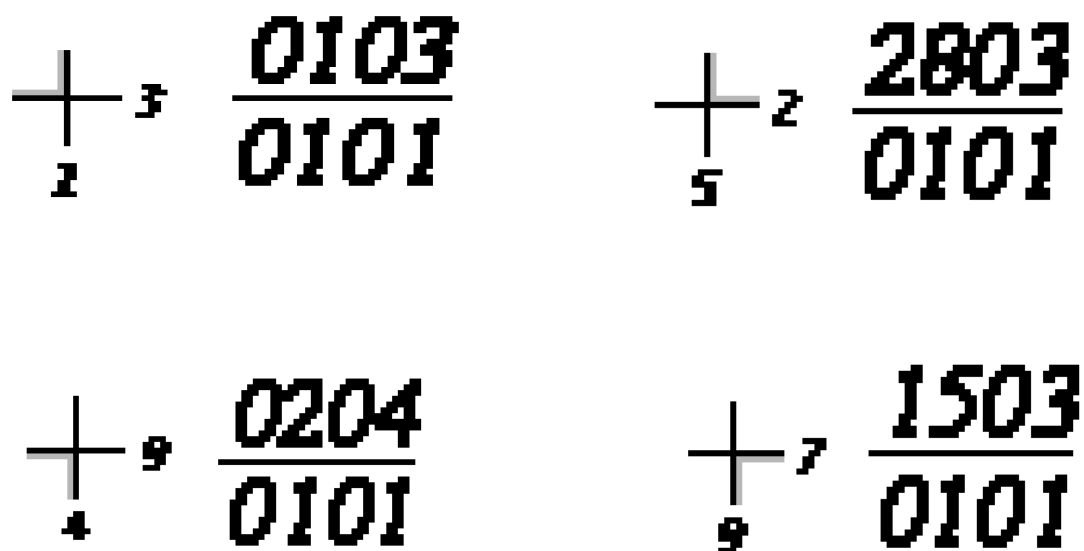


Рисунок 1 – Различные варианты нанесения «двойного креста» в зависимости от значения дробной части пиксела

При обработке макетных снимков с координатами, нанесенными по данной технологии, были получены ошибки, значения которых значительно меньше допустимых значений.

Созданный маршрут битовых макетных снимков обрабатывался в программном продукте PHOTOMOD 5 Lite. При работе были задействованы модули PHOTOMOD AT и PHOTOMOD SolverA.

На этапе внутреннего ориентирования были получены следующие результаты:

## Маршрут: Маршрут 1

	Снимок	Камера	Тип камеры	Ориентация осей	Измерено меток	Тип преобразования	Ошибки, СКО, пикс.
*	<a href="#">P_1</a>	Новая камера.x-cam	Координаты меток	0°	4/4	Аффинное	0.000
*	<a href="#">P_2</a>	Новая камера.x-cam	Координаты меток	0°	4/4	Аффинное	0.000
*	<a href="#">P_3</a>	Новая камера.x-cam	Координаты меток	0°	4/4	Аффинное	0.000
*	<a href="#">P_4</a>	Новая камера.x-cam	Координаты меток	0°	4/4	Аффинное	0.000
*	<a href="#">P_5</a>	Новая камера.x-cam	Координаты меток	0°	4/4	Аффинное	0.000

На этапе измерения связующих точек были получены следующие результаты:

## Маршрут: Маршрут 1

	Стереопара	Кол-во точек	Остаточный поперечный параллакс, пикс.			Разница углов каппа, рад.	Равномерность распределения
			СКО	ср. модуль	max		
*	<a href="#">P_1—P_2</a>	12	0.037	0.029	0.073	0.00938831	равномерное
*	<a href="#">P_2—P_3</a>	12	0.031	0.025	0.064	0.01562221	равномерное
*	<a href="#">P_3—P_4</a>	12	0.068	0.050	0.149	-0.00899124	равномерное
*	<a href="#">P_4—P_5</a>	12	0.048	0.037	0.113	0.00136910	равномерное

	Триплет	Кол-во точек	Ошибки по связи, пикс.					
			СКО		ср. модуль		max	
			$E_{xy}$	$E_z$	$E_{xy}$	$E_z$	$E_{xy}$	$E_z$
*	<a href="#">P_1—P_2—P_3</a>	6	0.025	0.052	0.020	0.047	0.045	0.070
*	<a href="#">P_2—P_3—P_4</a>	6	0.025	0.067	0.022	0.059	0.045	0.122
*	<a href="#">P_3—P_4—P_5</a>	6	0.049	0.085	0.037	0.062	0.100	0.173

На этапе уравнивания были получены следующие результаты:

## Ошибки по опорным точкам

	$X_{ср}-X_{г}$ (метр)	$Y_{ср}-Y_{г}$ (метр)	$Z_{ср}-Z_{г}$ (метр)	$E_{xy}$ (метр)
<b>допуск</b>	<b>0,200</b>	<b>0,200</b>	<b>0,200</b>	<b>0,200</b>
0111/0102	- 0,000	0,002	0,002	0,002
0204/0101	- 0,001	- 0,000	- 0,001	0,001
0212/0104	- 0,002	- 0,002	- 0,000	0,003
2904/0101	- 0,000	0,002	0,001	0,002
2911/0102	0,002	0,003	- 0,002	0,003

2912/0104	0,001	0,001	0,001	0,001
среднее значение	0,001	0,002	0,001	0,002
СКО	0,001	0,002	0,001	0,002
максимум	0,002	0,003	0,002	0,003

Ошибки по связующим точкам (между стереопарами)

	X <sub>ср</sub> -X <sub>г</sub> (метр)	Y <sub>ср</sub> -Y <sub>г</sub> (метр)	Z <sub>ср</sub> -Z <sub>г</sub> (метр)	E <sub>xy</sub> (метр)
<b>допуск</b>	<b>0,200</b>	<b>0,200</b>	<b>0,200</b>	<b>0,200</b>
среднее значение	0,000	0,003	0,011	0,003
СКО	0,000	0,003	0,012	0,003
максимум	0,001	0,007	0,021	0,007

Общее количество времени, необходимого на обработку одного маршрута из 5 битовых макетных снимков, составляет не более 30 – 40 минут (без учета времени загрузки файлов). Основное время уходит на точное наведение марки на точку в соответствии с алгоритмом подпиксельной точности, т.е. установки марки на ту часть пиксела, которая графически обозначена на снимке.

Результаты работы доказали точность работы алгоритмов, заложенных в ЦФС PHOTOMOD 5 Lite. Представленные в отчете ошибки, вероятнее всего, получены по двум причинам:

1. При создании макетных снимков изначально заложена некоторая небольшая ошибка при переводе координат, полученных аналитическим методом, в формат цифрового изображения. Эта проблема частично решена с помощью алгоритма «двойного креста».
2. При маркировании соответственных точек в ЦФС PHOTOMOD 5 Lite не всегда возможно абсолютно точно навестись на нужную часть пиксела.

Опубликованные статьи по теме исследования:

1. Коркин В.С. Разработка макетных снимков для тестирования цифровых фотограмметрических систем // Современные проблемы геодезии и оптики: Материалы междунар. научн.-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА – НИИГАиК, (Новосибирск, 23–24 ноября 1998 г. ) – Новосибирск: СГГА. – С. 62 – 69.

2. Коркин В.С. Алгоритм обратного трассирования лучей для формирования цифровых макетных снимков // Гео-Сибирь – 2007. III Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 25–27 апреля 2007 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010 Т.3. – С. 45 – 48.

3. Коркин В.С. Цифровые фотограмметрические тест-объекты для тестирования цифровых фотограмметрических станций / Коркин В.С. // Геодезия и картография. – 2008. - №2. – С. 39 – 41.

4. Коркин В.С., Сидякина А.Е. Проект создания комплекса цифровых макетных аэроснимков для исследования фотограмметрических систем // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19 – 29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т.4 Ч.1. – С. 72 – 74.

5. Сидякина А.Е. Алгоритм формирования стереопары битовых макетных снимков для исследования точности работы ЦФС Photomod 5 // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2012. VIII Междунар. науч. конгр.: сб. молодых ученых СГГА (Новосибирск 10 – 20 апреля 2012 г, ). – Новосибирск: СГГА, 2012, С 71 – 77.

6. Коркин В.С., Червова А.Е. Разработка алгоритма и программы формирования цифровых макетных снимков, образующих маршрут // Интерэкспо ГЕО - Сибирь-2013 Т.1. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, СГГА, апрель С. 88 – 91.