

Алгоритмы обработки изображений Луны для абсолютной калибровки съемочных систем ДЗЗ

Васильев А.И.

Ромайкин С.В.

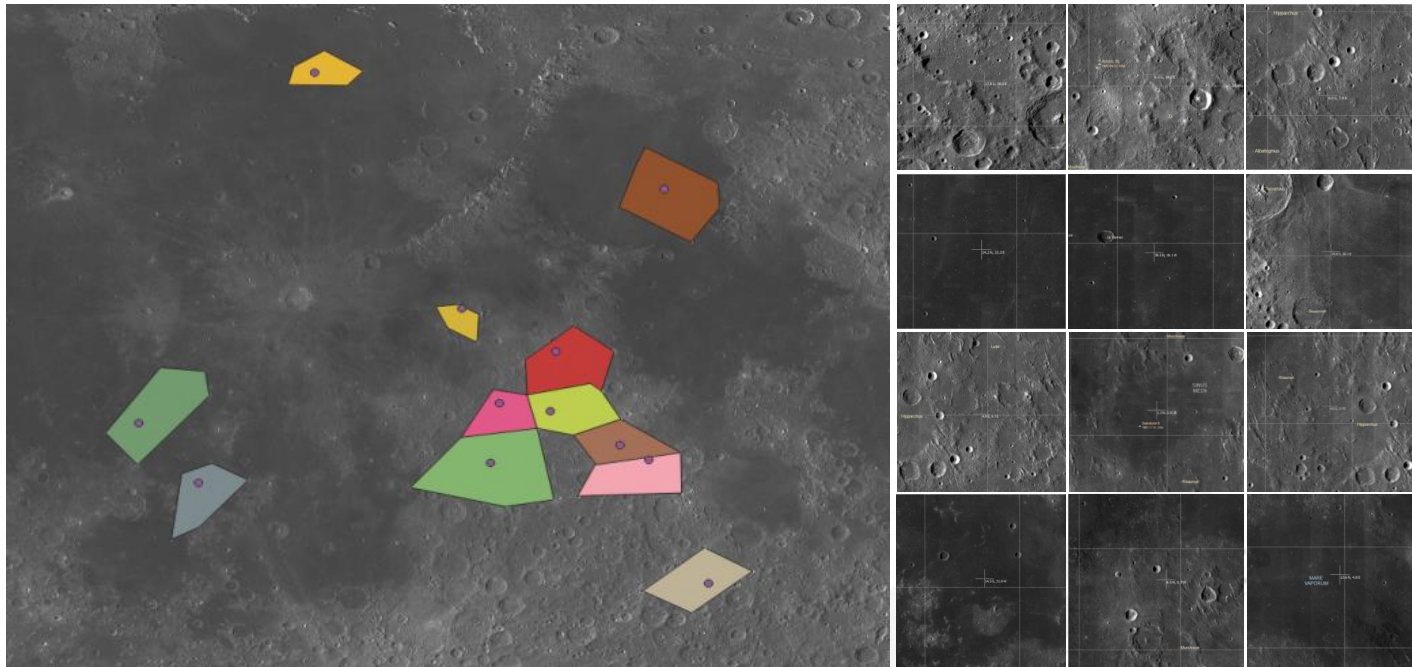
НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы» (Москва, РФ)

Коржиманов А.В.

АО РКЦ «Прогресс» (Самара, РФ)

Полигоны Лунной поверхности

Полигоны Лунной поверхности, предложенные РКЦ «Прогресс» и снятые двухканальным спектрографом «TDS» КГО ГАИШ МГУ им. Ломоносова.



Исходные данные для автоматического совмещения изображений Луны и наблюдений с наземной обсерватории

Данные наблюдений Луны целевой аппаратурой КА «АИСТ-2Д»



Основные требования к исходным данным:

- Уровень обработки до L1B
- Видимость поверхности Лунного диска не менее 50%.

Основные характеристики съемочных систем при совмещении:

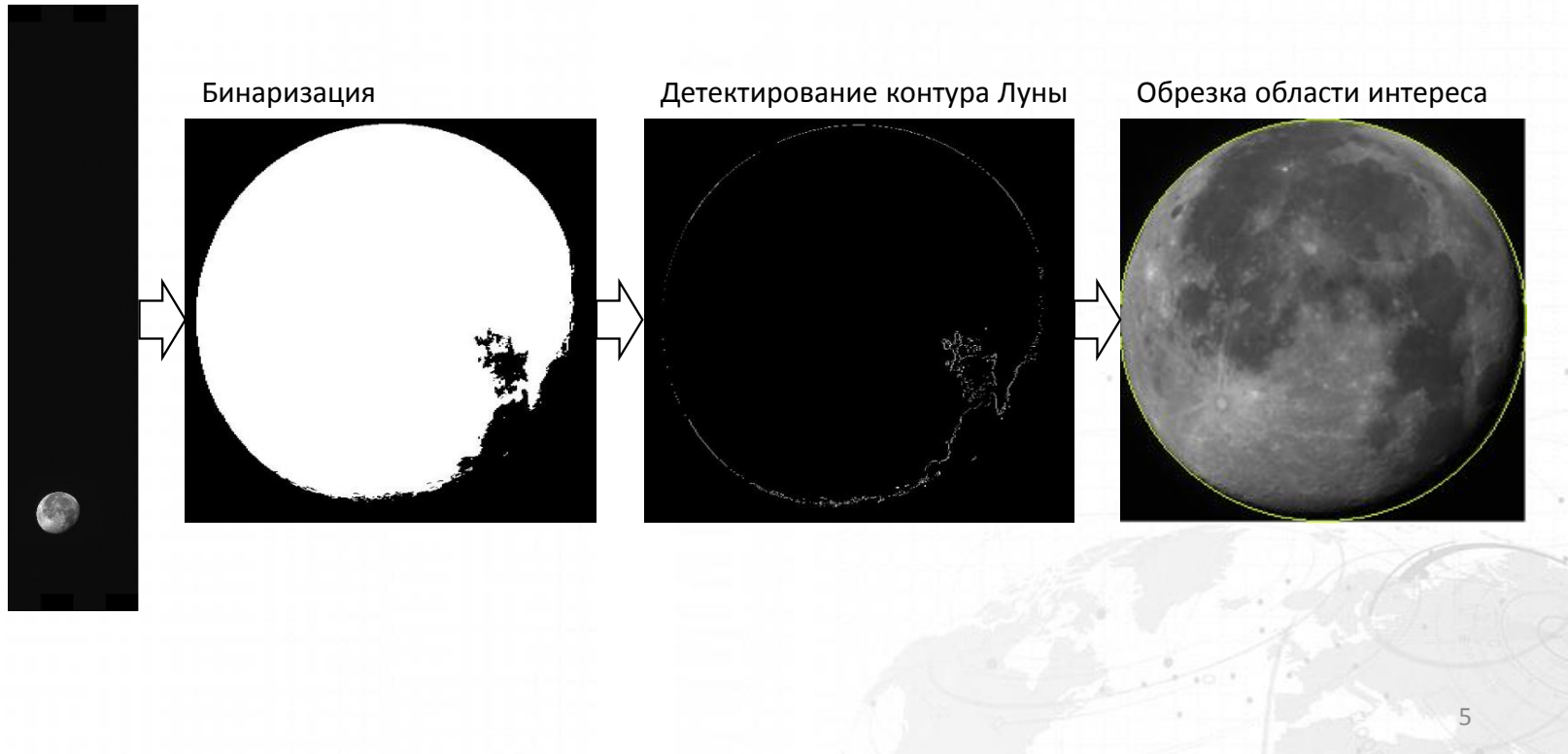
Аппаратура	Характеристика	Значение
Спектрограф TDS	Точность наведения	3 км
АИСТ-2Д «Аврора»	Размер пикселя на Луне	3,5 км

Согласно исследованиям РКЦ «Прогресс» средние значения цифровых отсчетов необходимо вычислять в области не менее 20x20 км вокруг центра каждого полигона.

Общая схема совмещения наблюдений Луны



Детектирование Луны на изображениях



Детектирование Луны на изображениях

1. Расчет приближенного центра области интереса

$$\begin{bmatrix} u_c \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_j BW(j, v_c) \cdot j}{\sum_j BW(j, v_c)} \\ \operatorname{argmax}_i \sum_j BW(j, i) \end{bmatrix}$$

Определение приближенного центра области интереса:

BW – бинаризованное изображение на основе алгоритма К-средних;

i – индексация по строкам изображения;

j – индексация по столбцам изображения.

Радиус области интереса (в пиксельных величинах) определяется следующим соотношением:

$$\rho = \frac{1}{2} \cdot \sum_j BW(j, v_c)$$

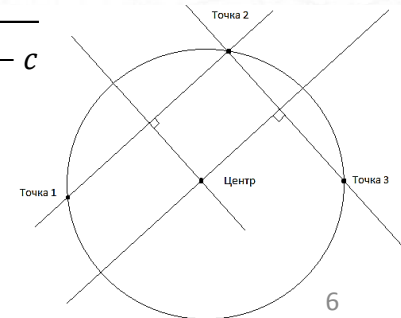
2. Определение контура видимого диска Луны с помощью детектирования границ (метод Кэнни)

$$|\nabla I| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

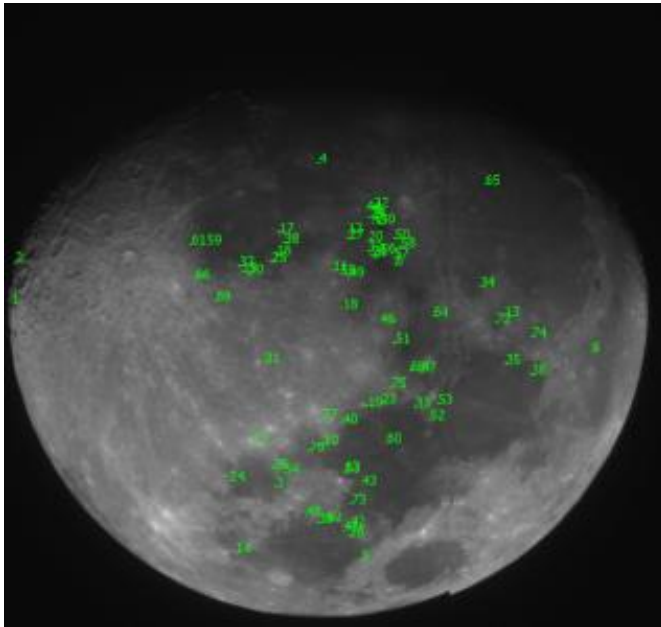
3. Определение параметров окружности Лунного диска

$$\begin{bmatrix} 2x_1 & 2y_1 & 1 \\ 2x_2 & 2y_2 & 1 \\ 2x_3 & 2y_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x_c \\ -y_c \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) \\ -(x_2^2 + y_2^2) \\ -(x_3^2 + y_3^2) \end{bmatrix}$$

$$R = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 - c}$$



Расчёт геометрической модели снимка



Пример измерений опорных точек

	Параллельно-перспективная модель	DLT	Аффинная модель
Средняя ошибка: x	-1,11	-0,11	0,00
y	0,09	-0,17	-0,08
xy	3,20	0,84	0,83
СКО:			
x	2,01	0,76	0,67
y	0,68	0,67	0,79
xy	2,12	1,01	1,03

Выбранная модель снимка:

$$[x \ y]^T = \begin{bmatrix} A_1 \cdot X + A_2 \cdot Y + A_3 \cdot Z + A_4 \\ B_1 \cdot X + B_2 \cdot Y + B_3 \cdot Z + B_4 \end{bmatrix}$$

$\vec{\theta} = \{A_1, \dots, A_4, B_1, \dots, B_4\}$ – параметры модели

$\vec{R} = [X \ Y \ Z]^T$ – пространственные координаты наблюдаемой точки Луны в селеноцентрической СК.

Оценка влияния рельефа на точность геометрической модели снимка



Результаты оценки точности построения трансформированного изображения по данным КА АИСТ-2Д:

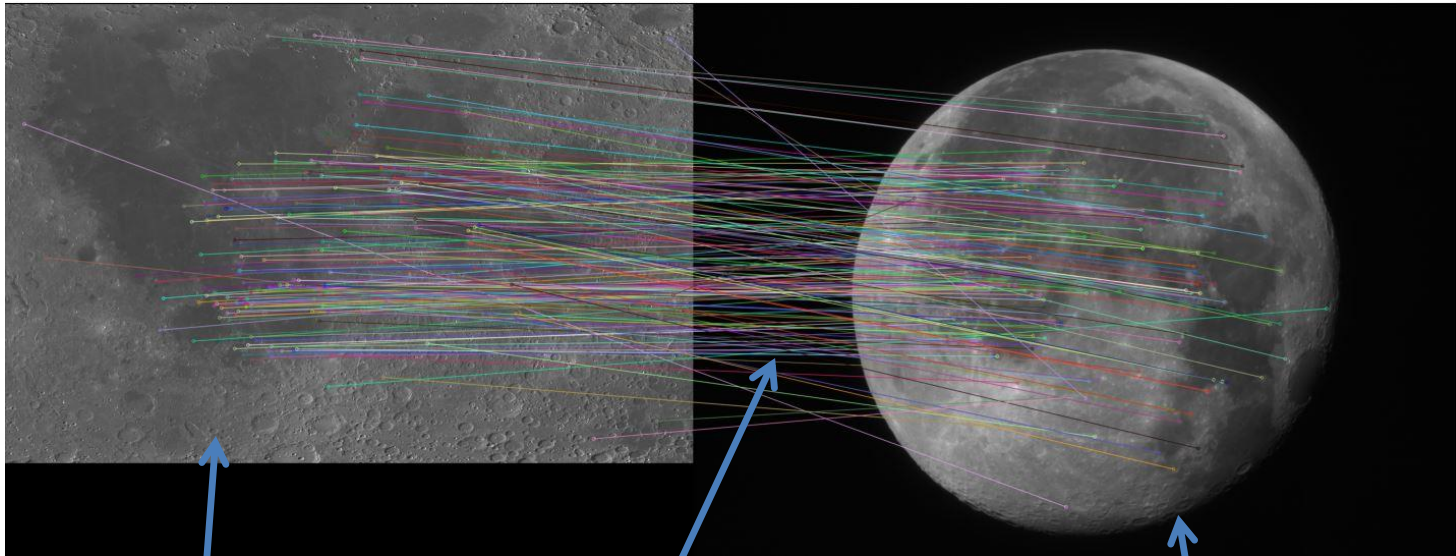
Характеристика	Значение (пикс)
Минимальная ошибка по x	-2,83
Максимальная ошибка по x	3,15
Минимальная ошибка по y	-1,54
Максимальная ошибка по y	3,29
СКО по x	0,67
СКО по y	0,79
Средняя ошибка по x	0,00
Средняя ошибка по y	-0,08

Максимальное допустимое превышение для данных КА АИСТ-2Д – 41,9 км.

Максимальное превышение на поверхности Луны – 9,2 км.

Ошибка, вносимая рельефом, составит не более 0,2 пикселя.

Автоматический расчет параметров модели снимка

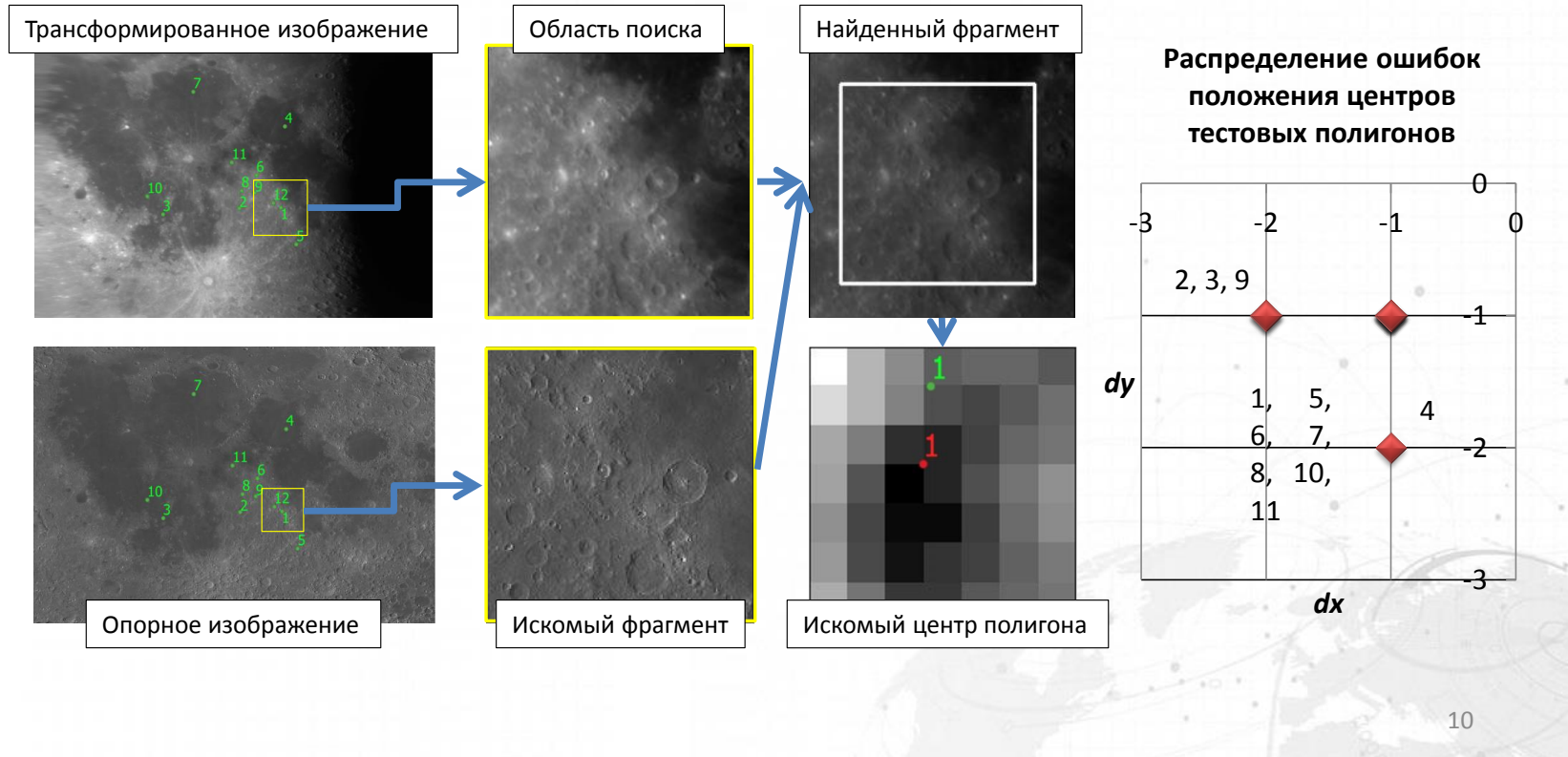


Покрытие Луны (NASA)

ORB, SIFT, SURF

Обрезанное исходное изображение,
полученное КА АИСТ-2Д

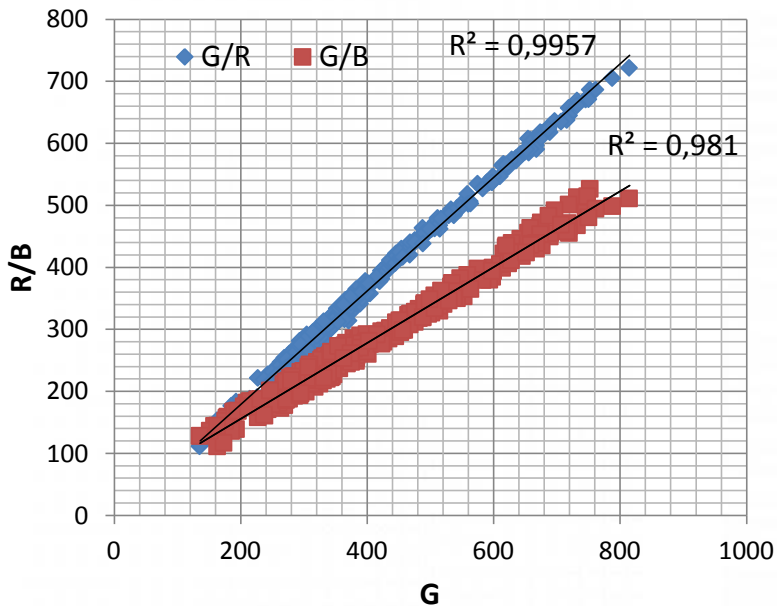
Идентификация центров полигонов



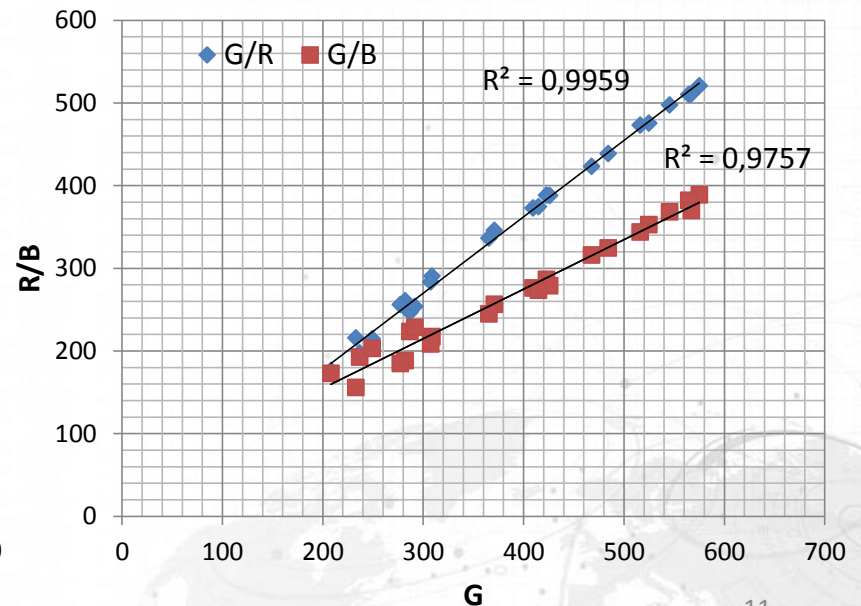
Оценка качества автоматического совмещения

В результате обработки более 20 наблюдений Луны КА АИСТ-2Д были получены коэффициенты детерминации цифровых отсчетов.

Для средней яркости центров тестовых полигонов:



Для средней яркости Лунного диска:



Спасибо за внимание!