

Построение сети опорных точек спутников внешних планет на примере Ио и Энцелада

И.Е. Надеждина, А.Э. Зубарев, Н.Э. Рубцова,
А.А. Жаров, О.А. Жаров, Л.А. Шишкина

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)
105064, Москва, Гороховский пер., 4
E-mail: lorencs@mail.ru

В работе приводится методика фотограмметрической обработки космических снимков с КА Galileo, Voyager, Cassini с использованием цифровой фотограмметрической станции PHOTOMOD 5.2. Результатом обработки явилось создание новой опорной сети Ио и Энцелада в виде каталогов опорных точек (502 и 796 соответственно) и получение на их основе материалов более высокого уровня обработки — трёхмерных моделей спутников и мозаик.

Ключевые слова: Voyager, Cassini, Galileo, PHOTOMOD, Ио, Энцелад, фотограмметрическая обработка, создание сети опорных точек, ЦМР, мозаика.

Введение

В Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий Московского государственного университета геодезии и картографии (КЛИВТ МИИГАиК) проведены работы по созданию опорных сетей на спутниках внешних планет Ио и Энцеладе. Основной информацией для работы послужили изображения этих небесных тел, полученные космическими аппаратами (КА) Galileo (NASA), Voyager-1, -2 (NASA), Cassini (NASA, ESA, ASI).

Фотограмметрические методы обработки изображений позволили получить информацию не только о форме тела, но создать продукты высокого уровня фотограмметрической обработки: каталоги опорных точек, трехмерные модели, ортофотоизображения, мозаики.

Это представляет большой научный интерес, так как на сегодняшней день имеются уточненные орбиты КА Galileo, однако работ по созданию новой опорной сети Ио с использованием этих данных не проводилось. Кроме того, Ио интересен как объект для создания карт различных уровней детализации, так как рельеф спутника динамично изменяется в связи с бурной вулканической активностью. Энцелад имеет большое покрытие снимками высокого разрешения, и так же интересен как объект для создания детальных карт.

1. Обработка космических изображений

Исходные изображения являются открытой информацией для научного сообщества, не подлежат коммерческому использованию и хранятся на сервере NASA Planetary Image Data [<http://pds-imaging.jpl.nasa.gov/search/search.html>].

Классические методы фотограмметрической обработки не применимы для работы с космическими изображениями удаленных небесных тел. Особенности фотограмметрической обработки и методика решения подробно освещена в статье «Проблемы обработки данных дистанционного зондирования для моделирования фигур малых тел солнечной системы» (Зубарев и др., 2012).

При обработке использовалось программное обеспечение: 1) ЦФС PHOTOMOD 5.2 компании «Ракурс»; 2) программный пакет VICAR, разработанный NASA Jet Propulsion Laboratory/Multi-mission Instrument Processing Laboratory (более подробная информация на сайте The VICAR Image Processing System [<http://www-mipl.jpl.nasa.gov/external/vicar.html>]).

2. Опорная сеть Ио

В библиотеке [<http://pds-imaging.jpl.nasa.gov/search/search.html>] хранится более 840 изображений Ио, снятых КА Galileo и более 850 изображений Voyager-1, -2. Эти изображения имеют разное разрешение, и подавляющая их часть не несет информации, пригодной для фотограмметрической обработки. Для создания опорной сети Ио были отобраны 38 изображений КА Voyager с разрешением от 1 до 16 км/пиксел и 15 изображений КА Galileo с разрешением от 2 до 15 км/пиксел.

Различными группами планетологов ранее были получены несколько вариантов сетей опорных точек Ио, последняя из них была создана в 2004 г. группой немецких учёных из DLR (Oberst, Schuster, 2004). За прошедший период не было космических миссий к этому спутнику Юпитера, и, как следствие, отсутствуют новые изображения. Поэтому при создании контрольной сети Ио в КЛИВТ использованы те же изображения, что и при создании более ранних сетей.

Для вычисления внешних элементов ориентирования изображений, необходимы данные о положении КА на орбите (эфемериды; размер, форма и ориентация исследуемого тела; ориентация КА и инструментов на нем и т. п.) и информация о камере (элементы внутреннего ориентирования, параметры дисторсии и т.п.), расположенной на его борту. Вся требуемая информация доступна на сайте NASA Navigation and Ancillary Information Facility в базе данных SPICE (Spacecraft Planet Instrument C-matrix Events [<http://naif.jpl.nasa.gov/>]).

Изображения, полученные камерой, расположенной на КА Galileo, не имеют геометрических искажений, и учёт дисторсии не требовался. Изображения с КА Voyager-1, -2 имеют значительные геометрические искажения, для устранения которых имеется специальная программа в программном обеспечении (ПО) VICAR (программа GEOMA). С ее помощью выполнена геометрическая калибровка изображений (инструкцию по этому виду работ можно найти на сайте [<http://www-mipl.jpl.nasa.gov/vicar/dev/html/vichelp/geoma.html>]).

В результате фотограмметрической обработки по методике, описанной в статье (Зубарев и др., 2012), была получена сеть 502 опорных точек на поверхности Ио (рис. 1).

Характеристики созданной опорной сети и ее сравнение с предыдущей приведена в табл. 1.

Таблица 1. Оценка точности сети опорных пунктов Ио и ее сравнение с предыдущей

Основные характеристики опорной сети	Опорная сеть Ио (КЛИВТ, 2012)	Опорная сеть Ио (Oberst, Schuster, 2004)
Количество изображений	53	66
Количество точек	502	362
Количество измерений	5155	4392
СКО X, м	3599,4	5117,6
СКО Y, м	2294,1	13691,9
СКО Z, м	3476,7	3913,1
СКО XYZ, м	5714,1	15131,7

Главным достоинством новой сети, созданной в КЛИВТ в 2011 г., является использование уточненных данных об эфемеридах КА Galileo, и, как следствие, более высокая достоверность полученных результатов фотограмметрической обработки. Второй важный момент: все этапы фотограмметрической обработки от измерения связующих точек на снимках до получения ортофотоплана выполнены с использованием российского программного комплекса PHOTOMOD 5.2.

На основе полученного каталога опорных точек созданы продукты более высокого уровня фотограмметрической обработки: трёхмерная модель (рис. 2) и мозаика (рис. 3).

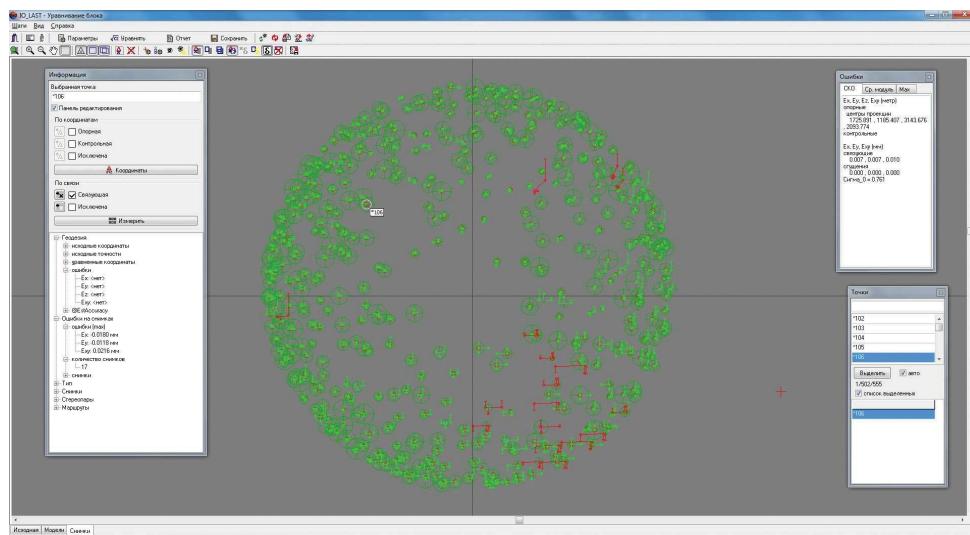


Рис. 1. Облако опорных точек Ио и эллипсами ошибок на точках

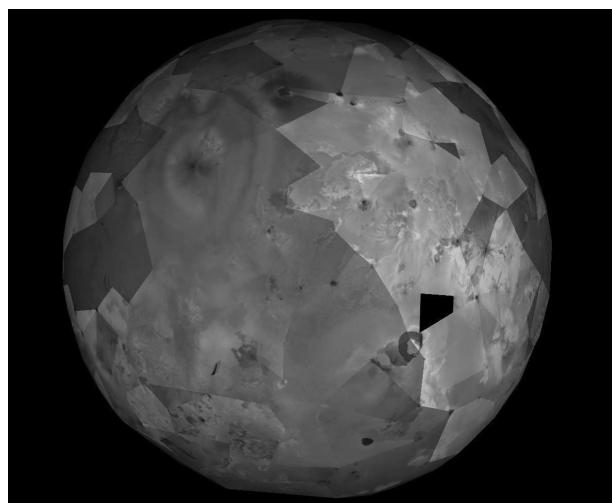


Рис. 2. Трёхмерная модель Ио

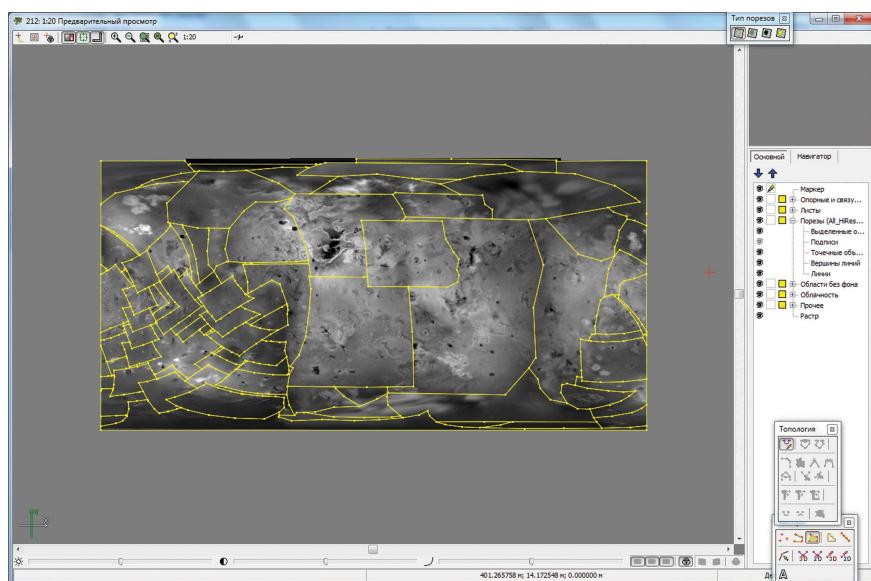


Рис. 3. Мозаика Ио

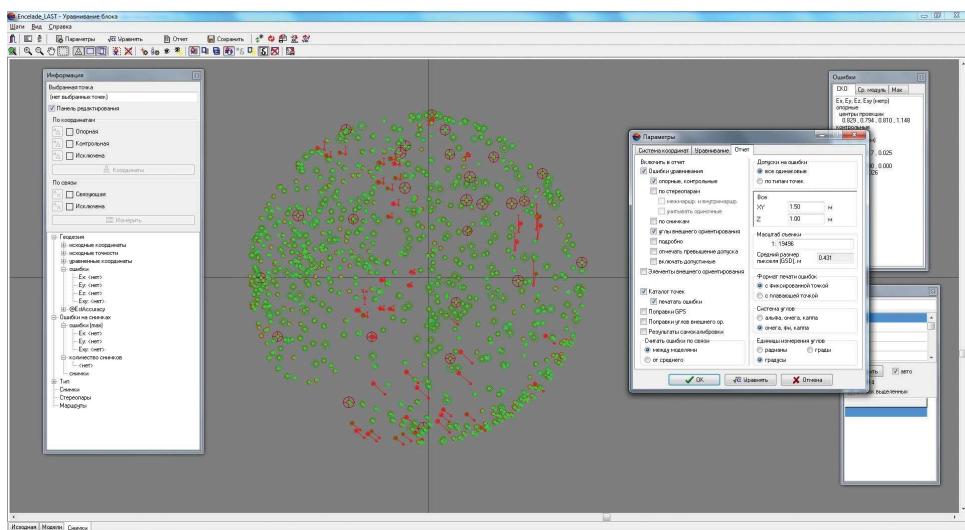


Рис. 4. Облако опорных точек Энцелада с эллипсами ошибок

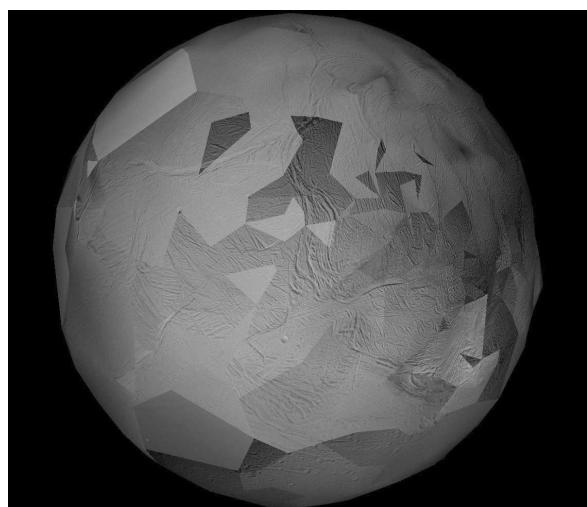


Рис. 5. Трёхмерная модель Энцелада

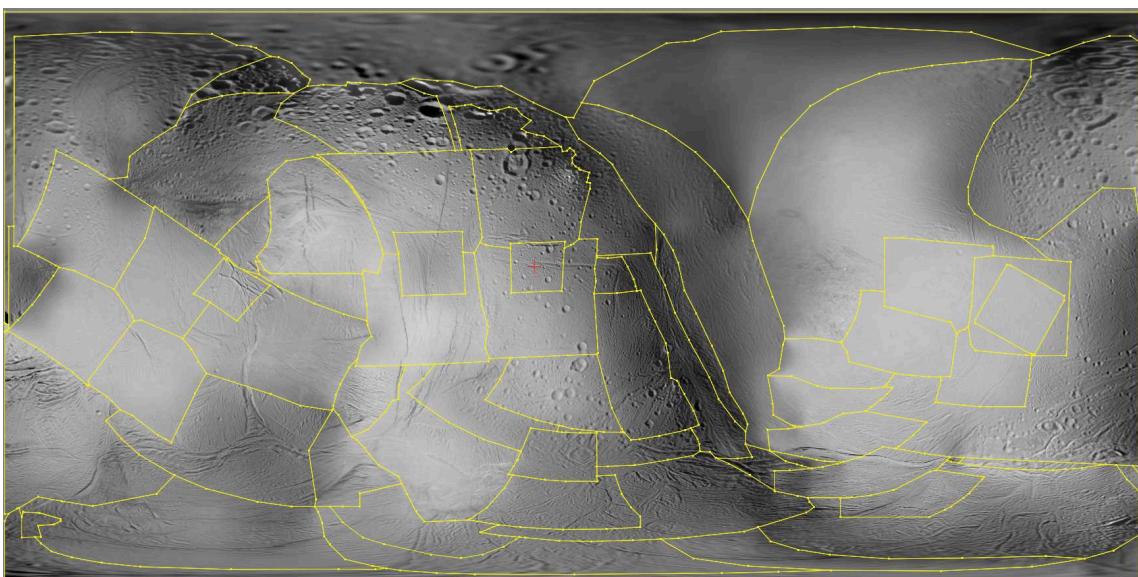


Рис. 6. Мозаика Энцелада

3. Опорная сеть Энцелада

Изображения поверхности одного из спутников Сатурна — Энцелада — получены в ходе двух космических миссий: Voyager-2 (1981) и Cassini (2005–2010). В июле 2004 г. КА Cassini был выведен на орбиту Сатурна и стал его первым искусственным спутником (ИСС). За время работы ИСС КА «Cassini» совершил более десятка пролетов вблизи Энцелада. КА Cassini снабжен комплектом научных инструментов для планетных исследований, одним из которых является съемочная система Imaging Science Subsystem (ISS).

В настоящий момент работы по созданию и уточнению опорной сети Энцелада проводятся различными научными группами. Созданы два каталога опорных точек Энцелада: каталог 1983 г., содержащий координаты 71 точки (Davies, Katayama, 1983), и каталог 2006 г., содержащий 88 точек (Giese et al., 2006). Каталог 1983 г. основан на изображениях, полученных КА Voyager-2, каталог 2006 г. — на изображениях КА Cassini.

Для создания опорной сети в КЛИВТ использованы только изображения, полученные в течение последней фазы миссии КА Cassini: февраль 2005 г. – май 2010 г. За этот период получено 4756 снимков Энцелада. Из них было отобрано 118 снимков с разрешением от 62,0 до 406,9 м, среднее разрешение — 179,6 м/пиксел.

На основе этих данных была получена новая сеть, содержащая 796 точек (рис. 4) и используемая для создания картографических материалов разного уровня детальности.

Мы не можем в полной мере сравнить характеристики новой опорной сети с уже имеющимися, так как не имеем детальной информации о них, в табл. 2 приведены лишь некоторые данные.

Таблица 2. Оценка точности сети опорных точек Энцелада

Основные характеристики опорной сети	Опорная сеть Энцелада (КЛИВТ, 2012)	Опорная сеть Энцелада (Th. Roatsch et al., 2008)
Количество изображений	118	11
Количество точек	796	88
Количество измерений	6920	
СКО X, м	366	736
СКО Y, м	260	335
СКО Z, м	271	608
СКО XYZ, м	524	

На основе каталога опорных точек также получена трёхмерная модель (рис. 5) и мозаика (рис. 6). На основе мозаики в настоящее время в КЛИВТ ведутся работы по созданию карт разного уровня детализации.

Заключение

В Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий Московского государственного университета геодезии и картографии (КЛИВТ МИИГАИК) в 2011 г. была проведена большая научно-исследовательская работа по созданию опорных сетей удаленных небесных тел по космическим кадровым снимкам.

Результатами применения данной методики явились созданные опорные сети Ио, Энцелада, Фобоса (Зубарев, 2012).

Созданные каталоги опорных точек для Ио и Энцелада содержат 502 и 796 точек соответственно, а по точности превосходят зарубежные аналоги. Полученные данные планируется использовать для изучения фигур Ио и Энцелада: определения параметров сферы, эллип-

соида вращения и трехосного эллипсоида, наиболее точно аппроксимирующих их, изучения либрации этих тел, потенциала притяжения, уточнения орбит. Также выполняется работа по картографированию этих спутников.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ по постановлению № 220 «О мерах по привлечению ведущих учёных в российские образовательные учреждения высшего профессионального образования» по договору № 11.G34.31.0021, заключенного между Министерством образования и науки РФ, профессором Юргеном Оберстом и Московским государственным университетом геодезии и картографии.

Литература

1. Зубарев А.Э., Надеждина И.Е., Конопухин А.А. Проблемы обработки данных дистанционного зондирования для моделирования фигур малых тел солнечной системы // В настоящем сборнике.
2. Davies M.E., Katayama F.Y. The controlnetworks of Mimas and Enceladus // Icarus. 1983. V. 53. Iss. 2. P. 332–340.
3. Giese B., Neukum G., Roatsch T., Denk T., Porco C. Topographic modeling of Phoebe using Cassini images // Planetary and Space Science. 2006. V. 54. P. 1156–1166.
4. Oberst J., Schuster P. Vertical control point network and global shape of Io // J. Geophysical Research. 2004. V. 109. E04003. doi: 10.1029/2003JE002159.

Creating of new global control point networks of Io and Enceladus

I.E. Nadezhdina, A.E. Zubarev, N.E. Rubtsova, A.A. Zharov,
O.A. Zharov, L.A. Shishkina

*Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)
105064, Moscow, Gorokhovsky pereulok, 4
E-mail: lorencs@mail.ru*

This article shows a new method of photogrammetric operations with images of extraterrestrial objects like Jupiter's Moon Io and Saturn's Moon Enceladus derived during Galileo, Voyager and Cassini missions. All photogrammetric operations and adjustment carried out in PHOTOMOD 5 software. In result we have derived control point networks of Io and Enceladus (502 and 796 points respectively). This was a base for deriving higher level products, like 3-D models and mosaics.

Keywords: Voyager, Cassini, Galileo, PHOTOMOD, Io, Enceladus, photogrammetric operations, creating a new global control point network, DTM, mosaic.