

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ОБЪЕКТОВ ПО ОДИНОЧНЫМ КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ IKONOS И QUICKBIRD

А.В. Беленов («Совзонд»)

В 1996 г. окончил Санкт-Петербургское высшее военно-топографическое командное училище по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания училища проходил службу в 29-м НИИ МО РФ. С 2001 г. работал в ЦПГ «Терра-Спейс», с 2006 г. по настоящее время — главный инженер компании «Совзонд».

М.В. Лютивинская («Совзонд»)

В 1996 г. окончила факультет фотограмметрии МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». После окончания института работала в ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ, в НПП «Центр прикладной геодинамики». С 2005 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время — инженер.

За последние годы можно отметить бурный рост количества геоинформационных проектов, использующих материалы космических съемок QUICKBIRD и IKONOS с пространственным разрешением до 1 м. В отличие от аэрофотоснимков данные космических съемок требуют применения специальных алгоритмов для их высокоточной коррекции при решении картографических задач, таких как построение ортофотопланов, создание моделей местности и рельефа по стереопарам. Наиболее корректным подходом к максимально точной геометрической коррекции, с точки зрения описания зависимостей между координатами точек на снимке и соответствующими точками местности, является строгая модель конкретного типа космического аппарата (КА), до-

статочно подробно формализующая процесс формирования изображения его съемочной системой. Компания GeoEye (Space Imaging) не предоставляет описание строгой модели КА IKONOS. Ситуация с использованием строгой модели КА QUICKBIRD ничем не лучше, так как ее передача разработчику программного обеспечения требует соблюдения ряда формальностей, причем использовать строгую модель можно только для целых сцен (уровень обработки BASIC) (см. Геопрофи. — 2006. — № 1. — С. 16–19).

В настоящее время решением данной проблемы может быть применение метода рациональной функции (1), использующего отношение двух полиномов третьей степени (2), для определения координат (r' , c') точки на снимке:

$$\begin{aligned} r' &= f(X', Y', Z') = \\ &= a(X', Y', Z') / b(X', Y', Z') \\ c' &= g(X', Y', Z') = \\ &= c(X', Y', Z') / d(X', Y', Z') \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} a(X, Y, Z) &= a_0 + a_1X + a_2Y + \\ &+ a_3Z + a_4XY + a_5XZ + a_6YZ + \\ &+ a_7X^2 + a_8Y^2 + a_9Z^2 + a_{10}XYZ + \\ &+ a_{11}X^3 + a_{12}XY^2 + a_{13}XZ^2 + \\ &+ a_{14}X^2Y + a_{15}Y^3 + a_{16}XZ^2 + \\ &+ a_{17}X^2Z + a_{18}YZ^2 + a_{19}Z^3 \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты полинома (2) называют коэффициентами рациональной функции (RPC — Rational Polynomial Coefficients). Эти коэффициенты вычисляют по избыточному набору точек, являющихся узлами кубической сетки, рассчитанной с применением строгой модели КА для каждой сцены. Компании GeoEye и DigitalGlobe рассчитывают и поставляют коэффициенты для определенных типов продукции: IKONOS Geo Ortho Kit и QUICKBIRD Standard Ortho Ready.

Существующая практика выполнения реальных проектов с использованием RPC-коэффициентов как распространенной методики, заложенной в коммерчески доступном программном обеспечении обработки снимков IKONOS и QUICKBIRD, показывает, что RPC-коэффициенты, сопровождающие снимок, корректно аппроксимируют модель снимка по всему полю и позволяют достичь точности ортотрансформирования не грубее двух пикселей изображения с минимальным количеством опорных точек.

Специалистами компании «Совзонд» разработано технологическое решение, позволяющее

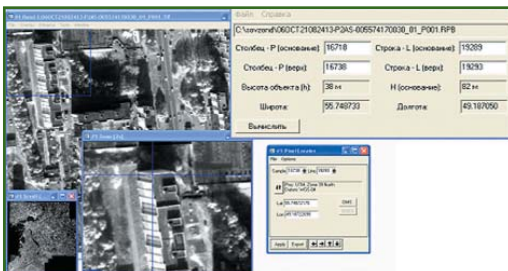


Рис. 1
Фрагмент интерфейса разработанной утилиты

определять высоты зданий и сооружений по одиночным снимкам с КА IKONOS и QUICKBIRD. Это решение реализовано в виде утилиты-приложения к программному комплексу обработки ДДЗ ENVI 4.3, написанной на языке IDL (рис. 1). В основе используемого алгоритма заложено вычисление высоты объекта в зависимости от расстояния между основанием и проекцией его верхней части на снимке, к примеру, основанием здания и проекцией крыши. В качестве математической модели, определяющей такую зависимость, используется аппроксимированная модель КА в виде коэффициентов рациональной функции (2), которая поставляется совместно с космическими изображениями уровня IKONOS Geo Ortho Kit и QuickBird Standard Ortho Ready.

Подход к решению задачи вычисления высоты объекта достаточно прост. Исходя из того, что координаты основания объекта (r'_o, c'_o) и его верхней части ($r'_в, c'_в$) в системе координат снимка известны, а значение абсолютной высоты основания (Z_o) равно высоте средней плоскости, на которую был спроецирован снимок, получаем:

$$\begin{aligned} r'_o &= f(X', Y', Z'_o) \\ c'_o &= g(X', Y', Z'_o) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} r'_в &= f(X', Y', Z'_в) \\ c'_в &= g(X', Y', Z'_в) \end{aligned} \quad (4)$$

$$h(\text{объекта}) = Z'_в - Z'_o \quad (5)$$

Решая зависимости (3), вычисляются географические координаты точки основания объекта и его верхней части (X', Y'). Из решения зависимостей (4) находятся значения абсолютной высоты верхней точки объекта ($Z'_в$). Высота объекта определяется как разница между двумя значениями высот (5).

Для определения состоятельности разработанной методики специалисты компании «Совзонад» провели оценку точности разности высот объектов, измеренных по стереопаре космических изображений IKONOS и вы-

численных по одиночному космическому снимку IKONOS, по описанной выше методике.

В качестве исходных данных были использованы:

- стереопара IKONOS Reference Stereo, ориентированная по RPC-коэффициентам;
- одиночный снимок IKONOS Geo Ortho Kit с уклоном от надира 29° .

Определения высот по стереопаре и вычисления по одиночному снимку были проведены для 34 равномерно расположенных зданий и сооружений различной высоты (от 4 до 60 м) по всему полю одиночного снимка IKONOS Geo Ortho Kit, площадью 100 км² (рис. 2).

Стереоскопические измерения и вычисления высот по одиночному снимку выполнялись независимыми операторами высокой квалификации.

Обработка разностей высот зданий, полученных двумя способами, показала следующее. Среднее значение разностей высот составило 1,92 м, минимальное — 0,2 м, а максимальное — 4,76 м. Средняя квадратическая ошибка определения высот зданий, вычисленная по разностям измерений двумя способами, составила 2,3 м. Кроме того, статистический анализ 34 разностей высот не выявил зависимости этих значений от высот зданий. Это позволяет сделать вывод о том, что точность определения высот предлагаемым способом полностью определяется точностью наведения оператором на основание здания и его верхнюю часть, как видно из зависимостей (3) и (4).

К ограничениям в использовании описанной методики определения высот объектов по одиночным снимкам можно отнести:

- невозможность использования изображений, полученных с минимальным уклоном от надира;
- наличие зон, в которых от-



Рис. 2
Расположение высотных объектов на снимке IKONOS

сутствует видимость (одни объекты закрывают другие);

- невозможность отождествления основания объектов, высотой ниже 3 м.

Несмотря на эти ограничения, предложенная методика может применяться при создании трехмерных моделей городских территорий для решения задач проектирования, управления территориями и радиочастотного планирования, которые в большинстве случаев создаются с помощью методов стереофотограмметрической обработки, требующих специализированного программного обеспечения и аппаратных средств.

RESUME

As distinct from the aerial photogrammetry the space images need special algorithms for their high-precision correction. Usage of a strict model for a particular spacecraft is the most correct approach. The used for real projects technique of the Rational Polynomial Coefficient (RPC) resampling model has been programmed in the software for processing IKONOS and QUICKBIRD images. This makes it possible to correctly approximate the image's model over the whole field as well as to achieve the orthophototransformation accuracy of better than two pixels for the minimal reference point number.