Особенности применения методов и алгоритмов реконструкции трехмерной формы ригидных объектов по данным панорамной съёмки*

А. Б. Мурьнин^{1,2}, А. А. Рухтер²

amurnin@bk.ru; urfin17@yandex.ru

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук, 119333, Москва, ул. Вавилова, 44/2; ²Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга "АЭРОКОСМОС 105064, Москва, Гороховский пер., 4

В работе рассмотрены методики восстановления формы трёхмерных объектов земной поверхности с использованием периодических особенностей структуры поверхностей ригидных объектов, применимый как для космических, так и для панорамных изображений этих объектов. Приведён краткий обзор разработанных ранее методик для восстановления трёхмерных объектов по одному изображению (на базе метаданных, на базе эталонов, на базе координатных сеток). Приведены основные особенности панорамной съёмки, область и границы ее применимости. Рассмотрены возможности совместного применения космической и панорамной съёмки. Описана методика, основанная на выделении геометрических периодов на поверхности ригидного объекта и оценки их геометрических параметров. На примере здания показаны основные структурные элементы, геометрические параметры объекта, оцениваемые при панорамной съёмке. Приведен пример восстановления трёхмерной модели объекта.

Ключевые слова: *трёхмерная модель; ригидный объект; период; панорамное изображение; космическое изображение*

DOI: 10.21469/22233792.4.4.02

1 Введение

К изображениям, которые используются при дистанционном мониторинге поверхности земли, относятся изображения, не только снятые с космических спутников (космическая съёмка), воздушных средств (аэрофотосъёмка), но и наземная панорамная съёмка. Регистрирующее оборудование, установленное на них, включает в себя несколько камер и лазерных сканеров, надёжно закреплённых на определённой высоте, и производит съёмку по заданному контуру (по кругу, сфере и др.) с определённой частотой в процессе движения автомобиля вдоль заданных траекторий (по дорогам). В результате предобработки (географическая привязка, сшивание, коррекция и др.) получают панорамные изображения, которые имеют наибольшее приближение к поверхности, но являются при этом дистанционными. В связи с этим точность привязки дешифрируемых объектов, детализация, пространственное разрешение и другие параметры для таких изображений значительно выше, чем для фотографий из космоса и с воздушных носителей, включая беспилотники. Разработка комплексного подхода к анализу области наблюдения по панорамным изображениям и представление определённых концепций их дешифрирования может быть полезным в различных задачах дистанционного зондирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №16-51-55019.

2 Методы построения 3D-моделей ригидных объектов по одному изображению

В настоящее время разработаны различные методы и алгоритмы построения трёхмерных моделей объектов по одному изображению [1] - [8]. Методы используют различные особенности изображений объекта. Сами входные изображения могут быть различного рода: перспективные или ортотрансформированные; аэрокосмические (спутниковые, аэрофотоснимки, снимки с беспилотников) или наземные (фотофиксация местности, объектов на ней); обычные или панорамные; макроскопические (снятие макрообласти) или микроскопические (снятие микрообласти); в низком или высоком разрешении (пространственном, спектральном, временном и др.); в режиме исторического или реального времени. Заметим, что необходимость восстановления 3D-сцен связано с использованием двухмерных изображений (двухмерных растровых или векторных массивов данных).

Методы восстановления 3D-сцен по одному изображению можно условно разделить на три класса, рассмотренные ниже.

1. Методы, основанные на данных одного снимка и его метаданных [1] - [5]. Несмотря на использование только одного снимка, они требуют дополнительной информации о нём: параметры освещенности и тени, угла фотографирования и др. Т.е. при отсутствии необходимых сведений об изображении по этим методам оценку 3D-модели произвести, как правило, затруднительно. К тому же, многие из данных методов связаны с определенными объектами, условиями съемки или типами снимков.

2. Методы, основанные на использовании координатных сеток [8] - [13]. Дано единственное изображение некоторого трёхмерного объекта без атрибутивной информации. При этом имеется априорная информация о форме этого объекта и некоторый способ соотнести местоположения ряда точек этой формы с пикселями изображения. Исходя из этого требуется восстановить размеры, положение и ориентацию объекта. Предлагаемый метод решения задачи основан на наложении на изображение объекта сетки линий с заданной структурой.

В целом порядок построения 3D-модели объекта состоит из следующих процедур: 1) выбор объекта и его формы на изображении; 2) разметка опорных точек на изображении; 3) расчёт геометрических размеров сетки; 4) привязка сетки к изображению объекта; 5) построение элементов объекта на сетке; 6) закраска элементов объекта.

Форма объекта моделируется сеткой линий, натянутой на его поверхность (здесь далее координатная сетка). Самая простая, базовая форма сетки прямоугольная, расположенная на трёх гранях прямоугольного параллелепипеда, имеющих общую точку, состоящая из линий, параллельных его рёбрам. Более сложные формы предлагается получить из этой при помощи ряда преобразований, описанных далее. Сетка может состоять из разного числа линий. Сетка, как и сам объект, существует в пространстве. При проецировании на плоскость изображения элементы сетки сопоставляются с его пикселями. Отыскав каким-либо способом пиксели, соответствующие элементам сетки, например, отметив на изображении рёбра прямоугольного здания, можно решить задачу определения его положения, ориентации и размеров. Сетки могут быть: линейными (параллелепипед, пирамида, призма и др.) или нелинейными (сфера, конус, цилиндр и др.); прямыми (выражены через декартову систему координат) или наклонными (через аффинную систему координат); плоскими (построены на гранях объёмных тел) или пространственными (построены на поверхности или всей полости тел); ортотрансформированными или перспективными.

На ортотрансформированных сетках дистанция между образами узлов и линий сетки постоянна и подчиняется аффинным преобразованиям на изображениях, на перспектив-

ных – дистанции меняются от образа начала координат и аппроксимируются законом убывающей геометрической прогрессии. Помимо прямых изображений (объектив снимает сам объект), сетка строится на косвенных (объектив снимает изображение объекта). Во втором случае имеется «изображение изображения» объекта, формируемое различными оптическими преобразованиями, такими как отражение, преломление, тенеобразование и др.

3. Методы, основанные на использовании эталонов [6] - [7]. На изображении задаются эталонные объекты, по известным их линейным (длины, площади, объёмы) и / или угловым (простые, двугранные, многогранные углы) размерам. В основе методов лежит расчёт масштабирующих коэффициентов в зависимости от направляющих осей и пространственного разрешения. Для ортотрансформированных изображений разрешение и коэффициенты считаются постоянными в окрестности объекта, но могут отличаться по осям; для перспективных – меняются по квадратичному закону в зависимости от расстояния от начала координат и направляющих осей на изображении объекта.

Для подходов на базе масштабирующих коэффициентов учитывается ряд аспектов: 1) параметры расчётного объекта, полученные по визуальным признакам (этажность, высота этажа, форма основания, геометрическая фигура, форма крыши и др.); 2) если нужные геометрические элементы, такие как координатные оси, на изображении не видны явно, на нём проводятся дополнительные геометрические построения; 3) параметры расчётного объекта по эталонному объекту могут быть найдены по одному изображению в условиях хорошей видимости обоих объектов либо по паре изображений в условиях плохой видимости одного из них; 4) значение масштабирующего коэффициента меняются с расстоянием от эталонного объекта, в пространственной окрестности от эталона (область влияния) его можно считать постоянным, на большой - непрерывно (для одного снимка) или кусочно-непрерывно (для "сшитых" снимков) меняющимся; 5) при больших расстояниях и разнице во времени между расчётным и эталонным объектами расчёты через масштабирующие коэффициенты "перемещаются" в пространстве-времени; 6) оценка точности расчётов может быть выполнена с учётом нескольких взятых эталонных объектов, например, для расчёта объектов, лежащих на пересечении их областей влияния; 7) расчёты «по ребру» (например, перпендикулярным несущим стенам или наклонным навесным конструкциям) или «по тени» (например, по теням несущих стен или навесных конструкций) для параллельных измерений отрезков. [6] - [7]

В процессе построения 3D-моделей может быть подключено программное обеспечение по моделированию и проектированию (с использованием имеющегося в них контента или при дополнении новым): Google Earth, Sketch Up, Matlab, 3ds-max, Revit и др. Например, в методах, основанных на сетках, при изменении ракурса объекта (преобразуется само изображение или берётся другое) образ сетки также меняется, что позволяет накладывать её и на панорамные изображения. В этом случае сетку можно устанавливать, например, в интерактивных программах, таких как Google Earth, для возможности редактирования 3D-моделей как в режиме просмотра космических изображений, так и панорамных, перемещаясь в пространстве вместе с привязанной сеткой и управляя при этом её параметрами в нужных местах. Т.к. Google Earth интегрируется с Sketch Up, сетки и модели можно строить в рабочей области Sketch Up при загрузке в неё Google Earth и «рисовании» на космических изображениях как на подложке.

Перечисленные выше методы, применяются в различных практических задачах, среди которых: комплексное визуальное дешифрирование мусорных полигонов и несанкционированных свалок; оценка и анализ потери освещённости (сезонное тенеобразование) на

территории садово-дачных участков от высокоэтажной застройки; построение 3D-моделей сцен, включающих хозяйственные зоны мусорных полигонов; оценка и анализ освещённости внутри и в окрестности здания и помещений в его составе. [14] - [17]

Ниже рассмотрим возможности реконструкции трехмерной формы ригидных объектов по данным панорамной съёмки на примере обработки данных панорамной съёмки здания.

3 Особенности панорамной съёмки объектов на поверхности земли

Панорамная съёмка имеет ряд особенностей, в частности (рис. 1): 1) обследование не только самого объекта земной поверхности, но и его деталей; 2) возможность съёмки объекта как снаружи, так и внутри него; 3) обзор объекта в широком диапазоне углов и точек фотографирования; 4) обзор области наблюдения в заданной точке фотографирования в широком диапазоне углов фотографирования; 5) ограниченность области покрытия (наблюдения), в связи с установленными траекториями движения съёмочной аппаратуры. На рисунке: U – полный обзор, U' – поле зрения для данного типа регистрирующего оборудования, U'' – для панорамного изображения P , пикселям $p = I(x, y)$ которого соответствуют направления (α, β) (по абсциссе x и ординате y) от точки фотографирования, f – угол фотографирования, A и $B_i, i = 1..n$ – объектив и объекты фотографирования, u – область наблюдения, v_B и u_B – область объекта B и его окрестности, v_B^1, v_B^2 и v_B^3 – подобласти видимой, невидимой с ракурса f части объекта и ненаблюдаемой части (невидимой ни с каких ракурсов) объекта (его поверхности), $g(t)$ и $f(t)$ – уравнения перемещения и вращения объектива (траектория обследования по модели поверхности Земли), c – траектория движения регистрирующего оборудования и построения модели поверхности Земли. При просмотре «наружу» точка A неподвижна, а B – подвижна, при просмотре «внутри» – наоборот. С неподвижной точки A просматривается окрестность этой точки, с подвижной точки – окрестность одного объекта. Участки панорамного изображения характеризуются информативностью, т.е. имеют различную видимость (объекты и их фрагменты могут быть экранированы или видимы с неблагоприятного ракурса). Несмотря на меньшую площадь области наблюдения для панорамных изображений, чем для космических, точность обследования значительно выше. При этом чем больше расстояние до объектов с точки A , тем больше площадь обзора подобласти наблюдения.

Рис. 1 Параметры панорамной съёмки

Как видно, космическая и панорамная съёмка дополняют друг друга и их совместное использование расширяет возможности дешифрирования. В частности: 1) можно прово-

дить общее дешифрирование по космической съёмке, уточняя и детализируя его по панорамной; 2) подобласти поверхности объекта, невидимые по одним типу съёмки или изображениям (с учётом ракурсов), могут быть видимыми по другим; 3) ненаблюдаемые объекты и их участки по панорамной съёмке могут быть наблюдаемы по космической и наоборот (такие как верхние части объектов, объекты за пределами полного обзора относительно траектории движения регистрирующего оборудования); 4) возможность проникновения внутрь объекта по панорамным изображениям при наличии проводящих участков его поверхности (таких как окна, через которые можно просмотреть внутреннее содержимое объекта); 5) проведение верификации результатов дешифрирования местности и содержимых объектов по космическим изображениям с помощью панорамных изображений местности (например, верификация дешифрирования свалок). Возможности алгоритмов и программ в области панорамной съёмки постоянно расширяются. Например, в последних версиях программы Google Earth панорамная съёмка может быть расширена для реализации больших возможностей мониторинга: 1) просмотр исторических изображений в режиме панорамной съёмки по аналогии с режимом космической съёмки; 2) просмотр не только поверхности, но и внутренности объектов, просмотр местности для больших территорий движения регистрирующего оборудования; 3) возможность измерений «линейкой» (длин отрезков, ломаных, кривых, площадей фигур, объёмов тел) не только на космических, но и на панорамных изображениях. Область наблюдения может включать объект и его прилегающую окрестность, семейство объектов, лежащих на заданной области покрытия и др.

Как и на космических изображениях, так и на панорамных изображениях может проводиться комплексное изучение объектов в области наблюдения, например: 1) классификация объектов: природного и антропогенного происхождения; известного и неизвестного происхождения; естественные и искусственные; правильной и неправильной формы; большие, средние и малые; информативные и фоновые; статические и динамические; распределённые и сосредоточенные; точечные, линейные и полигональные; реальные и гипотетические; простые, сложные и составные; внешние и внутренние и др.; 2) логический анализ изображений: объекты и состояния (изображения объектов) над ними, события – изменения состояний (группы изображений объектов), время над объектами – прошлое, настоящее и будущее; действительное и мнимое (альтернативное); абсолютное и относительное (с учётом «знака» относительно реального времени), модели логических связей, информационные модели и др. [18]

4 Построение трёхмерной модели ригидного объекта по панорамному изображению

Рассмотрим один из подходов к восстановлению 3D-моделей ригидных объектов по панорамному изображению – с использованием периодических особенностей структуры их поверхностей (данный подход применим также и для космических изображений).

Поверхность ригидного объекта (здания) раскладывается на элементарные тела (прямоугольники, трапеции, конусы и т.д.), заданные параметрами размеров и пространственного положения относительно здания в локальной системе координат, привязанной к зданию.

На панорамных изображениях поверхность характеризуется условиями видимости в разных её частях (с учётом ракурса f), задаваемыми коэффициентами: наблюдаемости k_1 , проводимости k_2 , экранирования k_3 , и чёткости k_4 . Наблюдаемость устанавливает видимость части объекта вообще: $k_1 = 1$ – видимая с ракурса f , $k_1 = -1$ – невидимая с ракурса

f , но видимая с других (наблюдаемая); $k_1 = 0$ – ненаблюдаемая. Проводимость устанавливает видимость за пределами поверхности объекта: внутри – $k_2 = 1$ (например, через окна можно просмотреть внутреннее содержимое объекта в направлении взгляда f); снаружи – $k_2 = -1$ (например, через зеркала можно просмотреть внешнюю окрестность объекта в направлении, противоположном f), ни внутри, ни снаружи – $k_2 = 0$ («матовая», непроводящая поверхность – обычное «состояние» стен зданий). Экранирование устанавливает видимость части изображения поверхности объекта с ракурса f «под воздействием» объектов в его окрестности: не видна – $k_3 = 1$ (например, экранирование деревьями), видна – $k_3 = 0$ («чистое» изображение объекта или его части с данного ракурса, незаслонённое никакими объектами в окрестности). Чёткость устанавливает видимость части изображения поверхности объекта с ракурса f «в деталях»: видна – $k_4 = 0$ (максимально чёткое изображение объекта, с учётом ракурса, расстояния, отсутствия экранов); не видна – $k_4 = 1$ (например, слишком малый угол f относительно поверхности или слишком большое расстояние d до объекта). На панорамном изображении визуализируется конструктор b объекта B – элементарный участок поверхности объекта постоянных размеров, «в единицах» которого могут быть вымерены длины, площади и объёмы частей объекта (угловые измерения не зависят от размеров конструктора). Зная линейные размеры конструктора, могут быть вычислены линейные размеры объекта. В общем конструктор имеет k размеров $l_j, j = 1..k$ и устанавливает периодичность объекта. Простейшие конструкторы (плитки, кирпичи, брёвна и др.) заданы $k = 1, 2$ размерами (длина и ширина), через которую «выражается» боковая поверхность объекта. Но есть периоды более сложной формы (например, периоды многоэтажных домов – «квадрат» стены между соседними балконами «по строкам» и «по столбцам» здания) с $k > 2$ размерами. По данным панорамной съёмки можно восстановить пространственные геометрические параметры объекта и построить его 3D-модель в деталях. Одним из подходов к восстановлению 3D-модели ригидных объектов по панорамному изображению является использование конструкторов этих объектов. Линейный размер конструктора можно оценить по одной из формул:

$$l = \frac{L}{q}, m = \frac{l_0}{l'_0} = \frac{l}{l'}.$$

L – значение длины некоторого отрезка на поверхности объекта, параллельного поверхности земли, вымеренное на космическом изображении объекта – обычном (с учётом пространственного разрешения) или «встроенном» в интерактивных программах, в Яндекс-карты, Google-карты, программу Google Earth (инструментом «линейка»). q – число конструкторов, приходящихся на данный отрезок. В нашем случае отрезок можно взять в основании здания, найдя число плиток q , уложенных вдоль этого отрезка. m – масштабирующий коэффициент для данного изображения I объекта b , который считается постоянным в некоторой его окрестности и равная отношению реальной длины l некоторого отрезка на длину l' этого отрезка на изображении. При панорамной съёмке I может быть взято под ракурсом f , перпендикулярном b и ближе своим центром к центру изображения, тогда искажение масштабирующих коэффициентов по осям будет минимальным. l_0 и l'_0 – реальная и на изображении длины эталонного отрезка. l' и l'_0 можно вымерить на I в пикселях или в интерактивной программе, наложив его на карту (также подключить инструмент «Линейка»). Через эталонные объекты (линейные или угловые размеры), лежащие на расчётном объекте (например, двери или окна на здании со стандартными размерами) или в его окрестности (например, припаркованный автомобиль известной марки или мусорная урна), по панорамному изображению P с использованием различных его образов I

(под ракурсами f) можно выразить пространственные геометрические параметры этого объекта, идентифицирующих его форму и размеры. При этом возможны дополнительные геометрические построения на изображениях I с ракурсов f для оценки тех или иных измерений l' . По одному изображению может быть рассчитана только видимая часть объекта. Расчёт всего ригидного объекта при панорамной съёмке выполняются по массиву изображений I , снятых с разных точек, ракурсов и при разных увеличениях. Внутренние объекты в составе внешнего распределены по определённым законам. Чем полнее массив, тем детальнее его модель: рассчитывается структура n_i, a_{ij} внутренних объектов для наблюдаемой части поверхности (с учётом иерархии, классовой принадлежности, типизации и др.), где n_i и a_{ij} – число объектов O_{ik} и геометрические параметры объектов i -го класса, $i = 1..m$ – номер класса, $j = 1..m_i$ – номер параметра, $k = 1..n_i$ – номер объекта, m – число классов, m_i – число параметров объектов i -го класса. По результатам расчёта по панорамной съёмке модель поверхности ригидного объекта можно представить как трёхмерную модель, построенную в программах по 3D-моделированию, проектированию и анимации (в виде эпюра, двухмерных или трёхмерных чертежей, с разных проекций, в сечениях и др.).

Как видно из рис. 2, здание магазина «Пятёрочка» B имеет сложную структуру как с вида сверху (рис. 2, а), так и с вида спереди (А) (рис. 2, б-в).

Рис. 2 Изображения в окрестности объекта B : а) космическое; б) панорамное с точки A и ракурса f (Google-карты); в) вид грани E (Яндекс-карты)

В нашем случае имеется два вида конструктора: квадратная плитка, уложенная по площади боковой поверхности здания – $q = 17.5$; сайдинговая панель, уложенная по периметру боковой поверхности между этажами – $q = 2$. Расчёты удобно проводить по первому конструктору: $l = l_1 = l_2 = L/q$ 0.57, где $L = 9.92$. Так, наблюдаемая часть поверхности состоит из окон $m = 4$ классов в количестве $n_1 = 1, n_2 = 2, n_3 = 11, n_4 = 1$ (объекты $O_{11} - O_{31}$ показаны на рис. 2, б), форма окон – прямоугольная (параметры a_{i1} и a_{i2} , $m_i = 2, i = 1..4$) размеров (в метрах): $a = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & 1.6 & 1.6 \\ 1.2 & 1.2 & 2.2 \end{bmatrix}$.

На рис. 3 приведена общая структура поверхности объекта B : вид в плане, развёртка поверхности, характерные части поверхности, выделение одной из сторон развёртки (грань E , см. рис. 2, в), её внутренние объекты и размерный базис (e_1, e_2 – общие параметры, e_3, e_4 – параметры формы, e_5, e_6 – параметры привязки внутренних объектов ко внешнему, e_7 – параметр взаимного расположения внутренних объектов в составе внешнего). Также приведена 3D-модель «детали» объекта: трёхмерная эпюра с обозначением основных размеров, формообразующий элемент – крыльцо B' (составные части – навес, опорные столбы, лестница, дверной проём) на рис. 2, б, Sketch Up.

5 Заключение

Таким образом показаны возможности автоматизированной реконструкции трехмерных сцен по данным панорамной и космической съёмки.

Представленный в работе подход к оценке трёхмерных моделей антропогенных объектов на базе их периодической структуры позволяет автоматизировать процесс многомерного концептуального проектирования и моделирования.

В дальнейшем может быть автоматизирован просчёт больших территорий в задаче 3D-моделирования по изображениям. Для этого могут быть применены различные подходы, такие как: 1) Извлечение максимума информации из изображения (при наложении искусственных ограничений или в условиях неопределённости при съёмке). В частности, восстановление трёхмерной сцены по панорамному изображению, снятому в окрестности заданной точки. Для этого вводятся классификаторы объектов поверхности с точки зрения типизации их 3D-моделей, по которым объектам, частично или полностью видимым на изображениях, ставится в соответствие их 3D-модели; 2) Построение пространственной сетки (единой или привязанной к локальным объектам; в декартовой, цилиндрической и т.д. системах координат), пронизывающей всю панорамную сцену. В этом случае при движении в режиме панорамной съёмки в интерактивных программах, например, в Google Earth, объекты, видимые на панорамных изображениях, могут быть размечены на сетке в пространстве посредством привязки изображений элементов объектов к сетке (её узлам, линиям, граням и др.) при локальном управлении параметрами сетки; 3) Автоматизация процесса 3D-моделирования посредством программирования геометрического 2D – 4D-пространства (с учётом времени) и населяющих его объектов поверхности с использованием соответствующего контента (языка, сценариев, библиотечных функций и процедур геометрического программирования и др.). Модель поверхности Земли может программироваться с применением концепций объектно-ориентированного программирования, позволяющего классифицировать объекты поверхности с точки зрения стандартизации и спецификации их 3D-моделей.

Литература

- [1] Шахраманьян М.А., Казарян М.Л., Рихтер А.А. Построение 3D-моделей объектов захоронения отходов и оценка их объемных характеристик // Информация и космос, 2017. - № 2. - С. 107-113.
- [2] Рихтер А.А., Мурынин А.Б. Оценка пространственных геометрических параметров объектов захоронения отходов по радарным изображениям // Материалы 15-й Всерос. откр. ежегод. конф.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных (ИКИ РАН-2017, 13-17 ноября). — М.: ИКИ РАН, 2017. - С. 49.
- [3] Туужилкин А.Ю.. Модели и алгоритмы реконструкции трехмерных сцен на основе спутниковых изображений и априорной информации: автореф. дис. ... кан. техн. наук.. Нижний Новгород, 2016. - 19 с.
- [4] Суцесковский Д.В. Выявление и 3d визуализация искусственных объектов земной поверхности с использованием лидарных и оптических спутниковых изображений // Вестник Херсонского национального технического университета, 2014. - Т. 50. - № 3. - С. 165-168.
- [5] Horn B.K.P. Shape from shading // Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1989. - pp. 123 - 171.
- [6] Рихтер А.А., Мурынин А.Б., Казарян М.Л., Дементьев И.А., Давыдов А.А., Игнатьев Д.С. Методика построения 3D-моделей ригидных объектов по одному изображению и её применение в построении 3D-моделей антропогенных территорий по космическим изображениям //

- Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Сборник научных трудов в электронно-библиотечной системе Znanium.com, 2018. - С. 121-132.
- [7] Рихтер А.А., Мурынин А.Б. Методика построения 3D-моделей ригидных объектов и её применение в моделировании антропогенных территорий по космическим изображениям // Материалы 15-й Всерос. откр. ежегод. конф.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных (ИКИ РАН-2017, 13-17 ноября). — М.: ИКИ РАН, 2017. - С. 50.
- [8] Рихтер А.А., Мурынин А.Б., Игнатъев В.Ю. Метод построения 3D-модели объектов поверхности земли по одному космическому изображению и его применение в задаче космического мониторинга объектов захоронения отходов // Материалы 14-й Всерос. откр. ежегод. конф.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных (ИКИ РАН-2016, 14-18 ноября). — М.: ИКИ РАН, 2016. - С. 44.
- [9] Шахраманьян М.А., Рихтер А.А., Мурынин А.Б., Казарян М.Л. Методика построения 3D-модели объектов правильной формы по одному изображению и ее применение в задаче космического мониторинга объектов захоронения отходов // Информация и космос, 2018, № 2 (8). - С. 76-81.
- [10] Шахраманьян М.А., Казарян М.Л., Рихтер А.А. Построение 3D-моделей ригидных объектов по косвенным изображениям методом координатных сеток // Информация и космос, 2018, № 3 (8). - С. 104-110.
- [11] Shufelt J.A. Exploiting photogrammetric method for building extraction in aerial images // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1996. — V. 31. — Part B6. — pp. 74-79.
- [12] Fischer A., Kolbe T.H., Cremers F., Forstner W., Plumer L., Steinhage V. Extracting Buildings from Aerial Images using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D // Computer vision and image understanding, 1998. — V. 72. — № 2. — pp. 185-203.
- [13] Dave C.P., Joshi R., Srivastava S.S. A survey on Geometry Correction of Satellite Imagery // International Journal of Computer Applications, 2015. — V. 116. — № 12.
- [14] Казарян М.Л., Шахраманьян М.А., Рихтер А.А., Дементьев И.А. Методика пространственного моделирования и оценки освещённости ригидных объектов с применением программного средства 3ds-max // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Сборник научных трудов в электронно-библиотечной системе Znanium.com, 2018. - С. 87-100.
- [15] Казарян М.Л., Шахраманьян М.А., Рихтер А.А., Дементьев И.А. Пространственное моделирование реальных сцен и освещённости в программе 3ds-max в проектной деятельности школьников // Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Сборник научных трудов в электронно-библиотечной системе Znanium.com, 2018. - С. 108-121.
- [16] Рихтер А.А., Мурынин А.Б. Моделирование освещённости объектов на земной поверхности по данным космической съёмки // Материалы 16-й Всерос. откр. ежегод. конф.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных (ИКИ РАН-2018, 12-16 ноября). — М.: ИКИ РАН, 2018. - С. 54.
- [17] Казарян М.Л., Рихтер А.А. и др.. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ : [монография]. ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М 2018. Артикул 684695.01.99 ISBN Online 978-5-16-106772-7 ID 972 756.

- [18] 18. Рихтер А.А., Мурынин А.Б. Комплексное дешифрирование объектов размещения отходов по данным космической съёмки // Материалы 16-й Всерос. отк. ежегод. конф.: Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Методы и алгоритмы обработки спутниковых данных (ИКИ РАН-2018, 12-16 ноября). — М.: ИКИ РАН, 2018. - С. 53.

Поступила в редакцию 21.12.2018

Features of the application of methods and algorithms for the reconstruction of the three-dimensional shape of rigid objects according to the panoramic survey*

A. B. Murynin^{1,2}, A. A. Richter²,
amurynin@bk.ru; urfin17@yandex.ru

¹ Federal Research Center "Informatics and Management" of the Russian Academy of Sciences, 119333, Moscow, st. Vavilova, 44/2 ² State scientific Institution "Institute for Scientific Research of Aerospace Monitoring" AEROCOSMOS 105064, Moscow, Gorokhovskiy lane., 4;

The paper discusses the methods for restoring the shape of three-dimensional objects of the earth's surface using periodic features of the structure of surfaces of rigid objects, applicable to both space and panoramic images of these objects. A brief review of previously developed methods for the restoration of three-dimensional objects in one image (based on metadata, based on standards, based on coordinate grids) is given. The main features of the panoramic shooting, the region and the limits of its applicability are given. Considered the possibility of joint use of space and panoramic shooting. A technique based on the selection of geometric periods on the surface of a rigid object and the evaluation of their geometric parameters is described. The example of the building shows the main structural elements, the geometrical parameters of the object, assessed during a panoramic survey. An example of the restoration of the three-dimensional model of the object.

Keywords: *three-dimensional model; rigid object; period; panoramic image; space image*

DOI: 10.21469/22233792.4.4.02

References

- [1] SHahraman'yan M.A., Kazaryan M.L., Rihter A.A. Postroenie 3D-modelej ob"ektov zahoroneniya othodov i ocenka ih ob"emnyh harakteristik // *Informaciya i kosmos*. — 2017. - N 2. - pp. 107-113.
- [2] Rihter A.A., Murynin A.B. Ocenka prostranstvennyh geometricheskikh parametrov ob"ektov zahoroneniya othodov po radarnym izobrazheniyam // *Materialy 15-j Vseros. otkr. ezhegod. konf.: Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Metody i algoritmy obrabotki sputnikovyyh dannyh (IKI RAN-2017, 13-17 noyabrya)*. — М.: IKI RAN, 2017. - pp. 49.
- [3] Tuzhilkin A.YU.. *Modeli i algoritmy rekonstrukcii trekhmernykh scen na osnove sputnikovyyh izobrazhenij i apriornoj informacii: avtoref. dis. ... kan. tekhn. nauk.*. Nizhnij Novgorod, 2016. - 19 p.

*The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 16-51-55019).

- [4] Sushchevskij D.V. Vyyavlenie i 3d vizualizaciya iskusstvennyh ob"ektov zemnoj poverhnosti s ispol'zovaniem lidarnyh i opticheskikh sputnikovyh izobrazhenij // *Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta*. — 2014. - T. 50. - N 3. - pp. 165-168.
- [5] Horn B.K.P. Shape from shading // *Cambridge, MA, USA: MIT Press*, 1989. - pp. 123 - 171.
- [6] Rihter A.A., Murynin A.B., Kazaryan M.L., Dement'ev I.A., Davydov A.A., Ignat'ev D.S. Metodika postroeniya 3D-modelej rigidnyh ob"ektov po odnomu izobrazheniyu i eyo primenenie v postroenii 3D-modelej antropogennyh territorij po kosmicheskim izobrazheniyam // *Matematicheskoe modelirovanie, chislennye metody i komplekсы программ. Sbornik nauchnyh trudov v ehlektronno-bibliotechnoj sisteme Znanium.com*, 2018. - pp. 121-132.
- [7] Rihter A.A., Murynin A.B. Metodika postroeniya 3D-modelej rigidnyh ob"ektov i eyo primeneniye v modelirovanii antropogennyh territorij po kosmicheskim izobrazheniyam // *Materialy 15-j Vseros. otkr. ezhegod. konf.: Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Metody i algoritmy obrabotki sputnikovyh dannyh (IKI RAN-2017, 13-17 noyabrya)*. — M.: IKI RAN, 2017. - pp. 50.
- [8] Rihter A.A., Murynin A.B., Ignat'ev V.YU. Metod postroeniya 3D-modeli ob"ektov poverhnosti zemli po odnomu kosmicheskomu izobrazheniyu i ego primenenie v zadache kosmicheskogo monitoringa ob"ektov zahoroneniya othodov // *Materialy 14-j Vseros. otkr. ezhegod. konf.: Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Metody i algoritmy obrabotki sputnikovyh dannyh (IKI RAN-2016, 14-18 noyabrya)*. — M.: IKI RAN, 2016. - pp. 44.
- [9] SHahraman'yan M.A., Rihter A.A., Murynin A.B., Kazaryan M.L. Metodika postroeniya 3D-modeli ob"ektov pravil'noj formy po odnomu izobrazheniyu i ee primenenie v zadache kosmicheskogo monitoringa ob"ektov zahoroneniya othodov // *Informaciya i kosmos*. — 2018, N 2 (8). - pp. 76-81.
- [10] SHahraman'yan M.A., Kazaryan M.L., Rihter A.A. Postroenie 3D-modelej rigidnyh ob"ektov po kosvennym izobrazheniyam metodom koordinatnyh setok // *Informaciya i kosmos*. — 2018, N 3 (8). - pp. 104-110.
- [11] Shufelt J.A. Exploiting photogrammetric method for building extraction in aerial images // *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1996. - V. 31. - Part B6. - pp. 74-79.
- [12] Fischer A., Kolbe T.H., Cremers F., Forstner W., Plumer L., Steinhage V. Extracting Buildings from Aerial Images using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D // *Computer vision and image understanding*. — 1998. - V. 72. - N 2. - pp. 185-203.
- [13] Dave C.P., Joshi R., Srivastava S.S. A survey on Geometry Correction of Satellite Imagery // *International Journal of Computer Applications*. — 2015. - V. 116. - N 12.
- [14] Kazaryan M.L., SHahraman'yan M.A., Rihter A.A., Dement'ev I.A. Metodika prostranstvennogo modelirovaniya i ocenki osveshchyonnosti rigidnyh ob"ektov s primeneniem programmnoy sredstva 3ds-max // *Matematicheskoe modelirovanie, chislennye metody i komplekсы программ. Sbornik nauchnyh trudov v ehlektronno-bibliotechnoj sisteme Znanium.com*, 2018. - pp. 87-100.
- [15] Kazaryan M.L., SHahraman'yan M.A., Rihter A.A., Dement'ev I.A. Prostranstvennoye modelirovanie real'nyh scen i osveshchyonnosti v programme 3ds-max v proektnoj deyatel'nosti shkol'nikov // *Matematicheskoe modelirovanie, chislennye metody i komplekсы программ. Sbornik nauchnyh trudov v ehlektronno-bibliotechnoj sisteme Znanium.com*, 2018. - pp. 108-121.
- [16] Rihter A.A., Murynin A.B. Modelirovanie osveshchyonnosti ob"ektov na zemnoj poverhnosti po dannym kosmicheskoy s"yomki // *Materialy 16-j Vseros. otkr. ezhegod. konf.: Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Metody i algoritmy obrabotki sputnikovyh dannyh (IKI RAN-2018, 12-16 noyabrya)*. — M.: IKI RAN, 2018. - pp. 54.

-
- [17] Kazaryan M.L., Rihter A.A. etc.. *Matematicheskoe modelirovanie, chislennye metody i komplekсы программ : [monografiya]*. ООО "Nauchno-izdatel'skij centr INFRA-M 2018. Artikel 684695.01.99 ISBN Online 978-5-16-106772-7 ID 972 756.
- [18] 18. Rihter A.A., Murynin A.B. Kompleksnoe deshifirovanie ob"ektov razmeshcheniya othodov po dannym kosmicheskoy s"yomki // *Materialy 16-j Vseros. otkr. ezhegod. konf.: Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Metody i algoritmy obrabotki sputnikovyh dannyh (IKI RAN-2018, 12-16 noyabrya)*. — M.: IKI RAN, 2018. - pp. 53.

Received December 21, 2018