УДК 615.035.4

АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КООРДИНАТ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН И КАРТ

Цветков В.Я.

ОАО Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (ОАО «НИИАС»), Москва, e-mail: cvj2@mail.ru

Проведен анализ построения трехмерных сцен и трехмерных карт на основе методов геоинформатики и информационного моделирования. Статья описывает общие принципы построения пространственных объектов. Статья описывает общие принципы построения перспективных изображений пространственных объектов. Описана технология построения трехмерных сцен и трехмерных карт. Описаны математические зависимости, применяемые при построении трехмерных карт и их визуальных изображений. дается анализ метода и его сравнение с фотограмметрическим методом. Показаны преимущества данного метода по отношению к фотограмметрическим решениям.

Ключевые слова: моделирование, пространственная информация, трехмерные модели, трехмерные сцены, информационные единицы, трехмерные карты, проективное преобразование

ALGORITHM FOR COORDINATE TRANSFORMATION OF SPATIAL OBJECTS AT CONSTRUCTION OF THREE-DIMENSIONAL SCENES AND MAPS

Tsvetkov V.Ya.

Research Institute of automated systems in railway transport, Moscow, e-mail: cvj2@mail.ru

The article contains the results of a study of constructing three-dimensional scenes and three-dimensional maps based on geoinformation techniques and information modeling. This article describes the general principles of spatial objects. This article describes the general principles of perspective images of spatial objects. This article describes the technology of construction of three-dimensional scenes and three-dimensional maps. This article describes the mathematical relationships used in the construction of three-dimensional maps and visual images. an analysis method and its comparison with photogrammetric method. The article shows the advantages of this method relative to the photogrammetric solutions.

Keywords: modeling spatial information, three-dimensional models, three-dimensional scenes, information unit, three-dimensional maps, projective transformation

В настоящее время накоплен достаточный опыт в создании цифровых карт [1-3] и цифровых моделей [4]. Этот опыт закреплен теорией и практикой геоинформатики. Получение трехмерных карт представляет интерес не только в геоинформатике, но и в теории искусственного интеллекта [5], психологии, когнитивной графике, системах автоматизированного проектирования [6]. Трехмерные карты используют технологию получения цифровых карт и цифрового моделирования. Кроме того, современные технологии получения трехмерных карт эволюционно связаны с понятием «электронная карта» [7], которая служит основой визуализации цифровых моделей и цифровых карт.

Системы и технологии обработки пространственной информации делятся на два больших класса: обработка двумерной информации и обработка трехмерной информации. В свою очередь, обработка двухмерной геоинформации разделяется на два подкласса: обработку изображений [8-10] и обработку координат.

Разница между этими подклассами в том, что для обработки изображений используют, как правило, целочисленные координаты [11] и целочисленную шкалу целых чисел. Для обработки координат используют вещественные числа и интервальную шкалу. Технология формирования динамических трехмерных карт использует совокупность технологий и методов обработки пространственной информации.

Материалы и методы исследования

В качестве материала использовались существующие описания пространственных преобразований в частности прямой и обратной проективной засечки. В качестве методики исследования применялся пространственный анализ, системный анализ и структурный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Общие принципы построения

Построение координат пространственного объекта по его проекциям называют прямой задачей. При моделировании про-

странственной ситуации gприменяют следующие процессы. Преобразование пространственных трехмерных координат (X, Y, Z) точки пространства M в двухмерные координаты (x, y) для точки проекции m, связанной с заданным центром проектирования лучей (точкой наблюдения) $S1$ и $S2$. Такое преобразование называют обратной задачей.

$$F[M(X, Y, Z)] \rightarrow mS1(x, y) \quad (1)$$

$$F[M(X, Y, Z)] \rightarrow mS2(x, y) \quad (2)$$

Процедуры (1) применяют, когда моделируют трехмерный объект, трехмерную сцену или трехмерную карту на монитор компьютера.

Дополняет обратную задачу прямая задача – преобразование двухмерных координат пары проекций (снимков) в трехмерные координаты объекта

$$G_1[mS1(x, y); mS2(x, y)] \rightarrow M(X, Y, Z) \quad (3)$$

На практике встречается ситуация, когда необходимо получить координаты трехмерного объекта не по паре проекций (снимков), а по большему их числу, например, по n-проекциям.

$$G_2[mS1(x, y); mS2(x, y) \ldots mSn(x, y).] \rightarrow \rightarrow M(X, Y, Z) \quad (4)$$

Преобразования (1-4) реализуются с использованием методов проективной геометрии.

Технологические решения

Технология формирования трехмерных объектов опирается на метод информационных единиц [12-15], метод информационной ситуации [16. 17], метод виртуального моделирования [18, 19] и метод построения перспективных видов сцен. Технология включает два этапа статическое моделирование и динамическое моделирование. На рисунке приведена технологическая схема получения трехмерных сцен и трехмерных карт.

На начальном этапе моделирования применяют информационные единицы (ИЕ), которые трансформируют в трехмерные информационные единицы. Трехмерные информационные единицы являются основой формирования трехмерных информационных моделей (ИМ) и трехмерных информационных ситуаций (ИС). На основе композиции объединяют трехмерные информационные модели и трехмерные информационные ситуации. Затем формируют трехмерные сцены (Сцена) как локальные трехмерные модели. На основе совокупности сцен формируют трехмерную карту (Карта) как глобальную трехмерную модель. Этот этап завершает статическое моделирование. Сформированные карта и сцены должны визуально отображаться и давать возможность динамического наблюдения трехмерной ситуации.

Поэтому следующий этап является этапом динамического моделирования. На этом этапе вводят дополнительные параметры: условия пространственного преобразования (УПП); допустимые точки наблюдения или точки зрения (ДТЗ); допустимые наборы масштабов (ДНМ) отображения трехмерной реальности. Все эти параметры необходимы для работы алгоритма пространственного преобразования. Оператор задает условия преобразования и в результате работы алгоритма трехмерная ситуация преобразуется в визуальную модель определенного масштаба, построенную из заданной точки зрения.

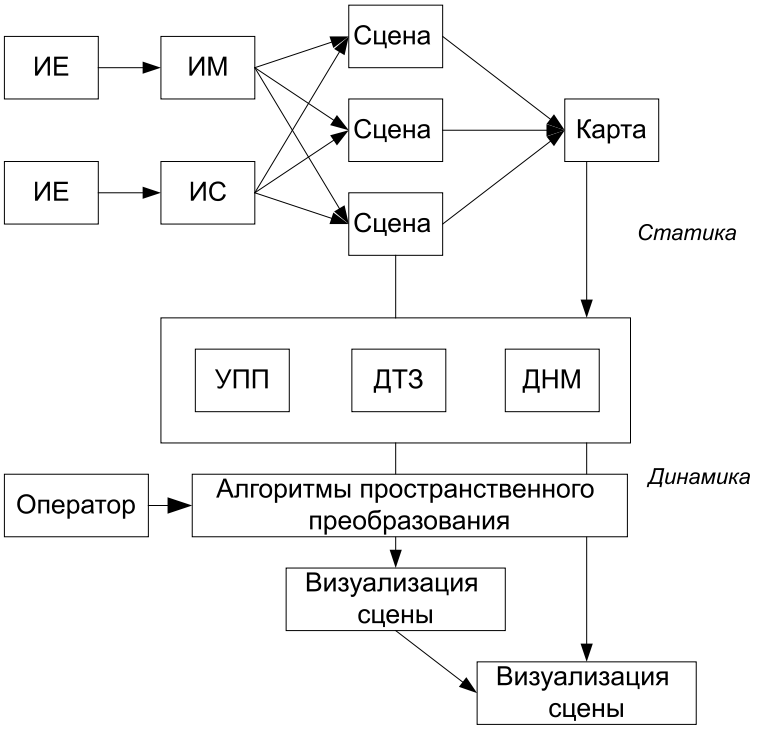
Методы преобразования

В качестве методов преобразования использовался проективный подход, апробированный в области динамической фотограмметрии, при дистанционном исследовании Земли [20] и при реставрации памятников истории и культуры по архивным снимкам [21]. Основой преобразования являются формулы проективной связи между координатами снимка (x, z) и объекта (X, Y, Z)

$$x = \frac{A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4}{A_9X + A_{10}Y + A_{11}Z + 1} \quad (1)$$

$$z = \frac{A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8}{A_9X + A_{10}Y + A_{11}Z + 1} \quad (2)$$

Постоянные коэффициенты A_i задают связь меду пространственными координатами и координатами снимка. Они требуют определения. Выражения (1-2) приводятся к линейному виду относительно коэффициентов A_i. Нахождение коэффициентов А и есть решение обратной проективной засечки. Такое решение получают, если существуют не менее 6 точек с известными координатами на местности и снимке. Выражения (1, 2) имеют место для каждой точки. Для 6 точек будет 12 линейных уравнений, которые дают возможность найти одиннадцать постоянных коэффициентов А и тем самым определить связь между координатами точек пространственных объектов и координатами точек снимка. При построении визуального предсталения трехмерной карты выражения (1, 2) служат основой получения сцены с заданным ракурсом и точкой наблюдения.



Технологическая схема формирования трехмерных сцен и карт в статическом и динамическом режимах

Для нахождения связи между известными элементами ориентирования снимком. Применяемых в фотограмметрии и коэффициентами *A*, были получены формулы [20-21] определения элементов ориентирования снимков через проективные коэффициенты. Напомним, что элементами ориентирования снимка называют [22]:

1. Координаты x_o, z_o пересечения главной оптической оси плоскости снимка. Эту точку называют главной точкой снимка.

2. Фокусное расстояние снимка *f*. В отличие от подхода классической фотограмметрии, данный подход позволяет вычислять два фокусных расстояния по каждой из осей, для случая, когда масштабы по осям снимка различны. Это явление называется анаморфотностью изображения. Оно имеет место при шторнощелевой съемке, при съемке с движущегося объекта, при старении снимков, полученных на пленке. Если анаморфотность отсутствует, оба фокусных расстояния должны быть равными.

3. Углы наклона главной оптической оси по отношению к внешней системе координат.

4. Координаты передней узловой точки объектива, или координаты точки проектирования, или координаты точки съемки

Основой для вычислений перечисленных параметров служат различные скалярные произведения коэффициентов *A* и их комбинации. Координаты главной точки снимка определяют по формулам (3).

$$x_o = (A_1 A_9 + A_2 A_{10} + A_3 A_{11})\, G^2$$
$$z_o = (A_5 A_9 + A_6 A_{10} + A_7 A_{11})\, G^2 \qquad (3)$$
$$G^2 = (A_9 A_9 + A_{10} A_{10} + A_{11} A_{11})^{-1}$$

Значения фокусных расстояний определяют по формулам

$$f_x = ((A_1 A_1 + A_2 A_2 + A_3 A_3)\, G^2 - x_o x_o)^{1/2}$$
$$f_z = ((A_5 A_5 + A_6 A_6 + A_7 A_7)\, G^2 - z_o z_o)^{1/2} \qquad (4)$$

Выражения (4) позволяют в явном виде определять два фокусных расстояния, которые в случае обычного центрального преобразования тождественно равны. Значения углов наклона и направляющих косинусов приведены в работах [278]. Остановимся на более важных параметрах – координатах центра проектирования X_S, Y_S, Z_S. Их определяют при решении линейной системы

$$\begin{vmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ A_5 & A_6 & A_7 \\ A_9 & A_{10} & A_{11} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -A_4 \\ -A_8 \\ -1 \end{vmatrix}$$

Использование подхода, основанного на применении проективного метода, позволя-

ет определить связь между координатами точек пространственных объектов и координатами их точек на мониторе компьютера на основе специальных постоянных коэффициентов *A*. Определение величин *A* позволяет по двум снимкам определять координаты точек пространственного объекта. С их помощью можно определять также и физические параметры съемки. Этот метод является альтернативой методу двойной фотограмметрической засечки, применяемой в фотограмметрии [22].

В фотограмметрической теории для решения обратной засечки необходимо не менее 5 опорных точек, координаты которых на местности и снимке известны. На практике из-за наличия погрешностей количество точек выбирают больше. Но теоретически минимально необходимое количество – 5 точек.

При использовании проективного подхода требуется не менее 6 точек. То есть формально требуется больше точек. Но разница в том, что обратная фотограмметрическая засечка не решается линейно, а решается методом последовательных приближений, то есть требует предварительной информации об определяемых параметрах. Это на практике накладывает ограничения на условия съемки. При этом решается двойная засечка, то есть только пара снимков участвует в построении пространственной модели.

При использовании проективного подхода задача решается линейно, не требует последовательных приближений, то есть требует предварительной информации об определяемых параметрах. Это на практике не накладывает никакие ограничения на условия съемки. При проективном подходе решается система линейных уравнений . Она допускает возможность использовании двух и большего числа снимков

Кроме того, геоинформатика использует разные источники дополнительной информации, в том числе и те, которые в фотограмметрии не применяют. Это обусловлено тем, что в фотограмметрии исследуют в первую очередь отдельные точки. В геоинформатики исследуют объекты, которые представлены совокупностью связанных точек. Дополнительная информация может быть получена при исследовании связей между точками объектов определенного класса.

Выводы

Использование проективных методов для построения трехмерных сцен и карт имеет преимущества перед другими методами из-за оперативности обработки и отсутствия ограничений на моделирование. Использование проективных методов понятней специалистам не знакомым с фотограмметрией. Для их применения достаточно знать геометрию и основы проективных преобразований. Метод информационных единиц и информационных ситуаций является основой для конструирования пространственных моделей и трехмерных карт. Еще одним важным фактором является применение методов виртуального моделирования, которое создает виртуальную реальность и превращает трехмерную карту из стилизованного изображения которым является обычная карта, в подобие реальности.

Список литературы

1. Mason D.C. et al. Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling // Hydrological Processes. – 2007. – V. 21. – № 11. – P. 1436-1447.

2. Greenfeld J.S. Matching GPS observations to locations on a digital map //Transportation Research Board 81st Annual Meeting. – 2002.

3. Абламейко С.В., Апарин Г.П., Крючков А.Н. Географические информационные системы. Создание цифровых карт. – Минск, 2000.

4. Цветков В.Я. Цифровые карты и цифровые модели // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4. (часть 2) – С. 348-351

5. Toga A.W. et al. A 3D digital map of rat brain //Brain research bulletin. – 1995. – V. 38. – № 1. – P. 77-85.

6. Цветков В.Я. Использование цифровых моделей для автоматизации проектирования // Проектирование и инженерные изыскания. – 1989. – № 1. – С. 21-23.

7. Цветков В.Я. Цифровые карты и электронные карты // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4. (часть 3) – С. 647-648.

8. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. В двух книгах. – М.: Мир, 1982.

9. Аникина Г.А., Поляков М.Г., Романов Л.Н., Цветков В.Я. О выделении контура изображения с помощью линейных обучаемых моделей. // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1980. – № 6. – С. 36-43.

10. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB – М.: Техносфера. – 2006.

11. Tsvetkov V.Ya. Integer Coordinates as an Nanotechnological Instrument // Nanotechnology Research and Practice. – 2014, Vol. 4, No. 4, P. 230-236.

12. Докукин П.А. Графические информационные единицы// Перспективы науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 32-39.

13. Ожерельева Т.А. Логические информационные единицы // Славянский форум, 2015. – 2(8) – с.240-249

14. Цветков В.Я. Информационные единицы сообщений // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12. – С. 123 – 124.

15. Павлов А. И. Информационные модели и информационные единицы //Перспективы науки и образования. – 2015. – № 6. – С. 12-17.

16. Коваленков Н.И. Ситуационное управление в сфере железнодорожного транспорта // Государственный советник. – 2015. – № 2. – С. 42-46.

17. Цветков В.Я. Информационные модели объектов, процессов и ситуаций// Дистанционное и виртуальное обучение. – 2014. – № 5. – С. 4-11.

18. Чернухин Ю. В., Сапрыкин Р. В. Система виртуального моделирования поведения интеллектуальных агентов при исследовании ими естественной среды функционирования // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2008. – Т. 88. – № 11.

19. Tsvetkov V. Ya. Virtual Modeling // European Journal of Technology and Design, 2016, Vol.(11), Is. 1, pp. 35-44. DOI: 10.13187/ejtd.2016.11.35 www.ejournal4.com.

20. Цветков В.Я. Методика обработки снимков неправильной формы // В кн. Развитие и использование аэрокосмических методов изучения природных явлений и ресурсов. – Новосибирск.: СО АН СССР, ИГИГ, ВЦ СО АН СССР, 1979, С. 56 – 63.

21. Цветков В.Я., Ходорович Е.А. Составление обмерных чертежей архитектурных памятников с использованием архивных фотоснимков. – М.: МК РСФСР, Росреставрация, 1986 – 52 с.

22. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. – М.: Недра, 1984. – 352 с.