

УДК 004.946

М. П. Руденко

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ИЗОБРАЖЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСПЕКТИВЫ С ОДНОЙ И ТРЕМЯ ТОЧКАМИ СХОДА

М. P. Rudenko

State Educational Institution of Higher Education "Donetsk national technical University", Donetsk city
83001, Donetsk, Artema str., 58

SYNTHESIS ALGORITHM FOR MODELS OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BY THEIR IMAGE USING THE PROSPECTS WITH ONE AND THREE POINTS OF VARIABLE

М. П. Руденко

Державна освітня установа вищої професійної освіти
«Донецький національний технічний університет», м. Донецьк
83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58

АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ МОДЕЛЕЙ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ЇХНІМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРСПЕКТИВИ З ОДНІЄЮ І ТРЬОМА ТОЧКАМИ СХОДУ

В статье рассматривается алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению применительно к реконструкции архитектурного сооружения с учетом перспективы с одной и тремя точками схода. Приводятся примеры программной реализации алгоритма. Применение разработанного алгоритма показало свою эффективность, так как может охватывать большее разнообразие фотографий для трехмерной реконструкции архитектурного сооружения.

Ключевые слова: синтез моделей, натуральная величина, перспективные масштабы, трехмерная реконструкция, трехмерное моделирование, точки схода.

The article discusses the operation of the synthesis algorithm for models of three-dimensional objects from their image when determining the relative natural values of an architectural structure, taking into account the perspective with one and three vanishing points. Examples of building structures software implementation based on the algorithm are given. The application of the algorithm, taking into account the perspective at various vanishing points, shows its effectiveness, since it can cover a wider variety of photographs for the architectural structure three-dimensional reconstruction.

Key words: synthesis of models, life size, perspective scales, three-dimensional reconstruction, three-dimensional modeling, vanishing points.

У статті розглядається алгоритм синтезу моделей тривимірних об'єктів по їх зображенню стосовно реконструкції архітектурної споруди з урахуванням перспективи з однією і трьома точками сходу. Наводяться приклади програмної реалізації алгоритму. Застосування розробленого алгоритму показало свою ефективність, так як може охоплювати більшу різноманітність фотографій для тривимірної реконструкції архітектурної споруди.

Ключові слова: синтез моделей, натуральна величина, перспективні масштаби, тривимірна реконструкція, тривимірне моделювання, точки сходу.

Актуальность работы. Активное применение информационных технологий в таких сферах, как архитектурная реконструкция, приводит к поиску все более усовершенствованных средств трехмерного моделирования и реконструкции окружающей среды. Особенно актуальна задача синтеза трехмерной модели объекта по его фотоизображению, поэтому в настоящее время разработан целый ряд предназначенных для ее решения алгоритмов и программных средств [1-3]. Одним из факторов, влияющих на эффективную работу при трехмерной реконструкции, является использование привычного для специалистов в этой области программного обеспечения, не требующего дополнительного обучения и дополнительных материальных затрат. В работе архитекторов и специалистов, занимающихся трехмерной реконструкцией по фотоизображению, важное место занимает построение точной геометрической модели, так как моделирование является переходным путем к генерации чертежей, в которых отображаются все технические данные модели. В [4] приводится анализ программных средств, среди которых приоритетной признана графическая среда AutoCAD с применением AutoLISP, благодаря которому возможна автоматизация решения задачи построения [5-8]. Именно на основе данной графической среды разработан алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям, и в [9] приводится его обоснование как алгоритма для трехмерной реконструкции архитектурных сооружений, отвечающего требованиям архитекторов и других специалистов в области проектирования и реконструкции архитектурной среды. В [10] показано отыскание относительных натуральных величин архитектурного сооружения по его фотоизображению на основе перспективы с двумя точками схода.

Цель работы. Целью работы является рассмотрение алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению при определении относительных натуральных величин архитектурного сооружения с учетом перспективы с одной и тремя точками схода.

Отыскание трех точек схода. Отыскание трех точек схода необходимо в том случае, когда архитектурное сооружение на фотографии изображено с искаженной собственной высотой, потому что, либо оно слишком высокое, либо точка, с которой делалась фотография, расположена ниже уровня глаз. Сначала на фотографии намечаются отрезки, точки пересечения которых будут отыскиваться. O_1 – точка пересечения прямых AB и CD . O_2 – точка пересечения прямых AE и CM . O_3 – точка пересечения прямых EM и BD . Из точки E через точку O_1 проводится отрезок. Аналогично из точки B через точку O_2 проводится другой отрезок. Точку пересечения этих отрезков назовем N (рис. 1).

Отыскание точки зрения S . Далее, согласно [11] строится окружность диаметром, равным отрезку O_1O_2 в центре этого отрезка. Через точку O проводится еще один отрезок R_1R_2 , равный и взаимно перпендикулярный отрезку O_1O_2 . В четырехугольнике $ABNE$ строим диагональ AN и продолжаем ее до пересечения с отрезком O_1O_2 , получаем точку F . Из точки R_2 через точку F проводим прямую до пересечения с окружностью, точку пересечения назовем S . Точка S является точкой зрения (рис. 2).

Определение относительных натуральных величин. При определении относительных натуральных величин по двум точкам схода нахождение точки зрения S считалось достаточным для дальнейшей работы. В случае с фотоизображением с тремя точками схода для нахождения относительных натуральных величин здания требуется построение дополнительной окружности с диаметром равным расстоянию между точками схода O_1 и O_3 (рис. 3). Процесс нахождения точки зрения S_1 , из которой будут проводиться линии, является таким же самым, как и нахождение точки зрения S .

Будем считать, что прямая O_1O_2 является горизонтальной линией картинной плоскости. Наметим на ней точку Co , из которой будут строиться опорные линии для нахождения относительных натуральных величин. Из точки Co проводим прямую m параллельную SO_1 , и прямую n параллельную SO_2 . Из точки зрения S_1 проводим прямую, пересекающую m в точке Mm , и прямую, пересекающую n в точке Dn . Таким образом, $CoMm$ является относительной величиной отрезка CM , а $CoDn$ – относительной натуральной величиной отрезка CD (рис. 4).

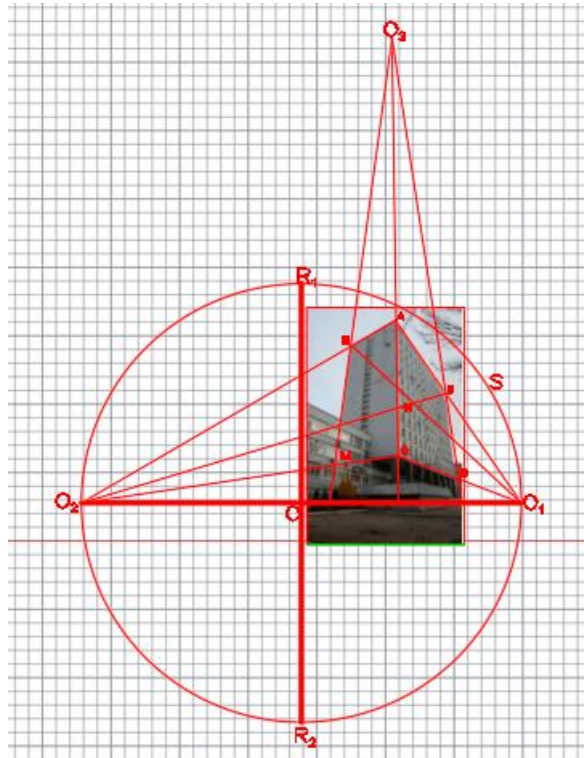


Рисунок 1 – Построение трех точек схода

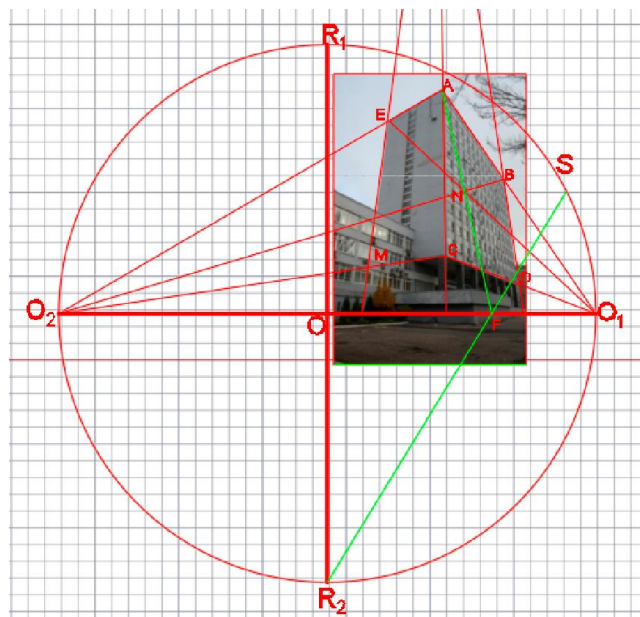


Рисунок 2 – Отыскание точки S

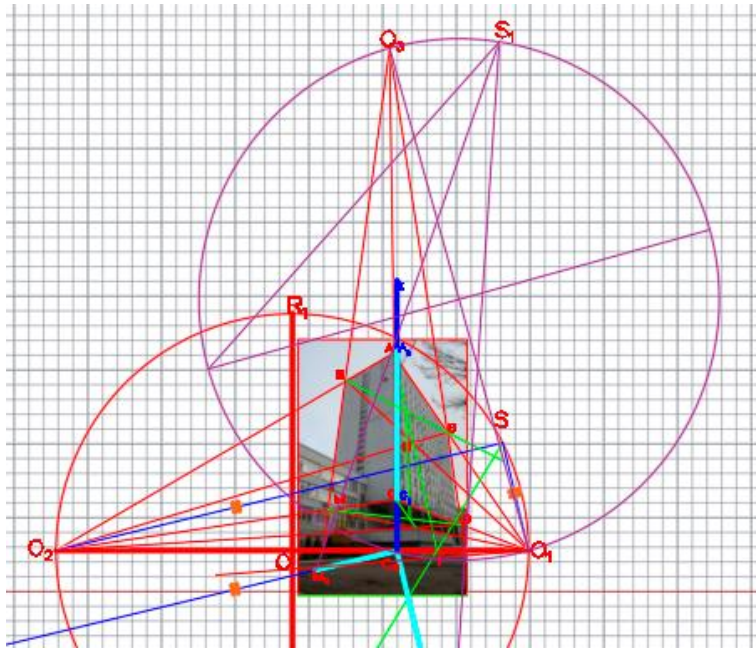


Рисунок 3 – Построение дополнительной окружности

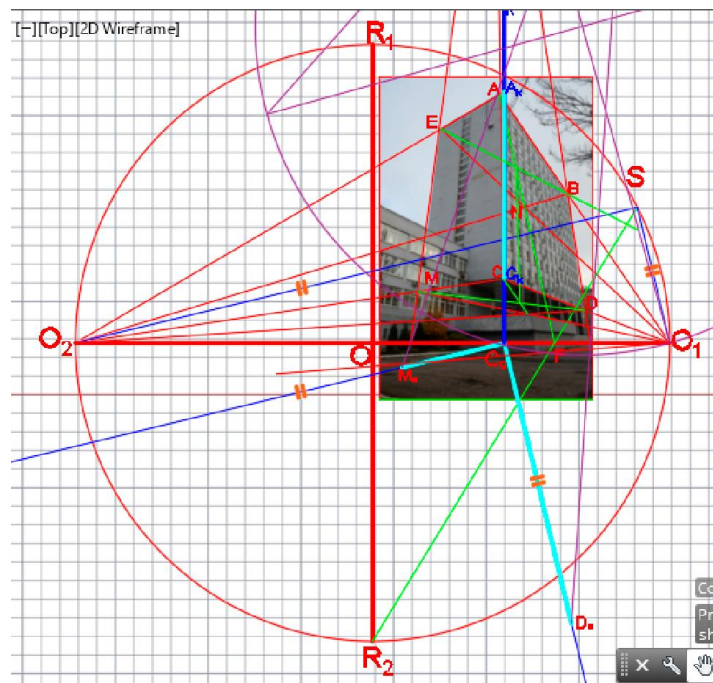


Рисунок 4 – Определение относительных натуральных величин здания

Построения выполнены в графической среде AutoCAD с использованием встроенного в нее языка AutoLISP. Пример кода построения окружностей для отыскания точки зрения S приводится ниже:

```
;Отыскание точки зрения S;  
;Построение окружности;
```

```

(setq h3 (list (/ (+ (nth 0 h1) (nth 0 h2)) 2) (nth 1 h)))
(setq D1 (distance h1 h2))
(setq D (/ D1 2))
(command "circle" h3 D)
(setq circ (entlast))
(command "point" h3)
;Построение вспомогательной линии d1d2;
(setq d1 (polar h3 1.5708 D))
(setq d2 (polar h3 4.7124 D))
(command "line" d1 d2 "")
(setq diametr (entlast))
(setq h4 (inters p13 p14 h1 h2 nil))
(command "line" h4 d2 "")
(setq lineS (entlast))
;Находим точку S;
(vl-load-com)
(defun sectcirc (c1 c2 / isecp listcoord)
(setq isecp (vla-IntersectWith c1 c2 acExtendOtherEntity))
(setq listcoord (vlax-safearray->list (vlax-variant-value isecp)))
(if (> (length listcoord) 3)
(setq S1 (list (nth 0 listcoord) (nth 1 listcoord) (nth 2 listcoord)));list listcoord);if
(setq c1 (vlax-ename->vla-object circ))
(setq c2 (vlax-ename->vla-object lineS))
(sectcirc c1 c2)
(command "point" S1)

```

Для того чтобы найти **относительную натуральную величину высоты** здания, заданную отрезком AC, проводим из точки S_0 вверх прямую перпендикулярную отрезку O_1O_2 , назовем ее k . Прямая k будет считаться вертикальной линией картинной плоскости. Из точки O_2 проводим две прямые через точки C и A соответственно до пересечения с прямой k . Прямая $AkCk$ является относительной натуральной величиной высоты AC (рис. 5).

Пример кода определения относительных натуральных величин приводится ниже:

```

;Построение натуральных величин;
(command «line» h1 S1 «»)
(setq m (entlast))
(command “copy” m “” S1 p20 “”)
(setq M (entlast))
(command “line” S1 h2 “”)
(setq n (entlast))
(command “copy” n “” S1 p20 “”)

```

```

(setq N (entlast))
(command "line" S1 p4 "")
;(setq Em (inters M S1 p4 nil))
;(command "point" Em)
(command "line" S1 p8 "")
;(setq Cn (inters p11 h1k S p8 nil))
;(command «point» Cn)

```

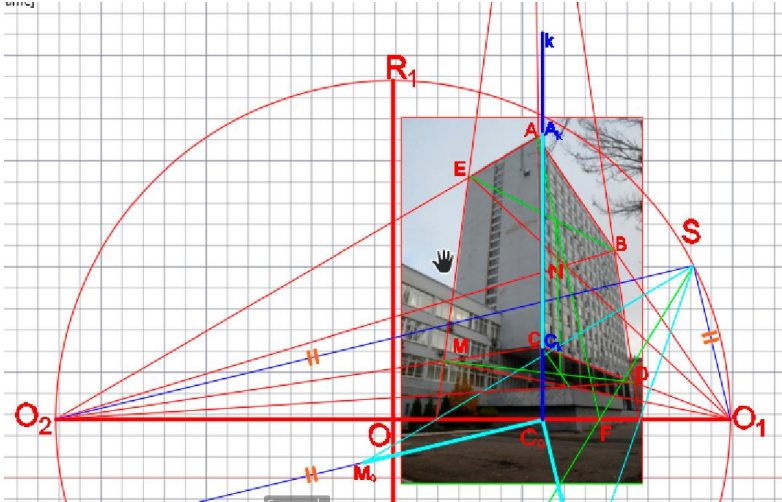
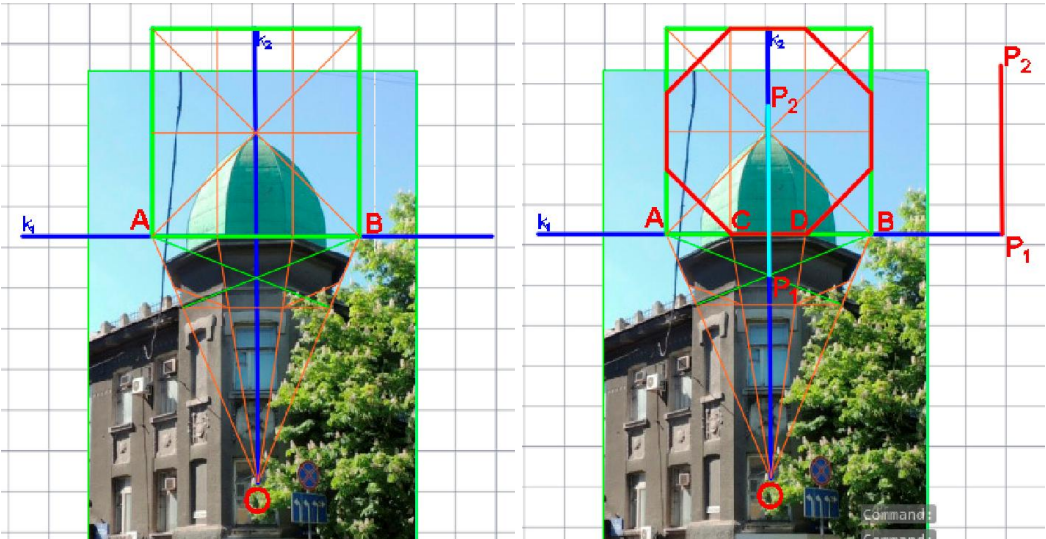


Рисунок 5 – Определение относительной натуральной величины высоты

Отыскание одной точки схода. Отыскание одной точки схода возможно в том случае, когда здание на фотографии изображено фронтально и его линии параллельны линиям картинной плоскости. На рис. 6а) изображено отыскание одной точки схода. Через линии, уходящие в перспективу, проводим линии до пересечения, и точка пересечения этих линий будет точкой схода О.



а) отыскание одной точки схода;
 б) отыскание относительных натуральных величин

Определение относительных натуральных величин. В случае, когда здание на фотографии изображено фронтально и требует отыскания только одной точки схода, это упрощается тем, что линии параллельны и размер их величин зависит от расположения линий картинной плоскости [12]. Через отрезок АВ проводим горизонтальную линию картинной плоскости k_1 . На линии k_1 лежит отрезок CD, который является относительной натуральной величиной одной из граней крыши, которая в плане является восьмигранной. Таким образом, относительные величины граней крыши, а также ее периметр найдены.

Чтобы найти относительную натуральную высоту крыши, через точку О проведем вертикальную линию картинной плоскости, перпендикулярную линии k_1 , и назовем ее k_2 . Из точек С и D соответственно проводим линии в точку схода О, чтобы найти отрезок задней грани крыши. В полученном четырехугольнике проводим диагонали, и таким образом находим точку пересечения P1, которая является начальной точкой высоты крыши. Точка P1, которая находится на краю шпиля крыши, является конечной точкой высоты крыши. Так как отрезок P1P2 расположен на вертикальной линии картинной плоскости k_2 , то он является относительной натуральной величиной высоты крыши (рис. 6б).

Пример кода с отысканием относительных натуральных величин приводится ниже:

```
;Определение относительных натуральных величин
(setq k3 (inters p1 p2 k1 k2 nil))
(setq k4 (inters p3 p4 k1 k2 nil))
(command "line" k3 k4 "")
(setq K1 (entlast))
;Построение диагоналей для определения высоты
(command "line" O1 k3 "")
(command "line" O1 k4 "")
(setq ans (getstring "\nУкажите точки для определения диагоналей: "))
(setq p13 (getpoint "\nУкажите первую точку :"));
(setq p14 (getpoint "\nУкажите вторую точку :"));
(command "line" p13 p14 "")
(setq diag1 (entlast))
(setq p15 (getpoint "\nУкажите первую точку :"));
(setq p16 (getpoint "\nУкажите вторую точку :"));
(command "line" p15 p16 "")
(setq diag2 (entlast))
;Высота
(setq ans (getstring "\nУкажите точки для определения высоты: "))
(setq p17 (getpoint "\nУкажите первую точку :"));
(setq p18 (getpoint "\nУкажите вторую точку :"));
(setq H1 (distance p17 p18))
```

На рис. 7 изображен результат моделирования крыши, процесс моделирования описан в [13], [14].

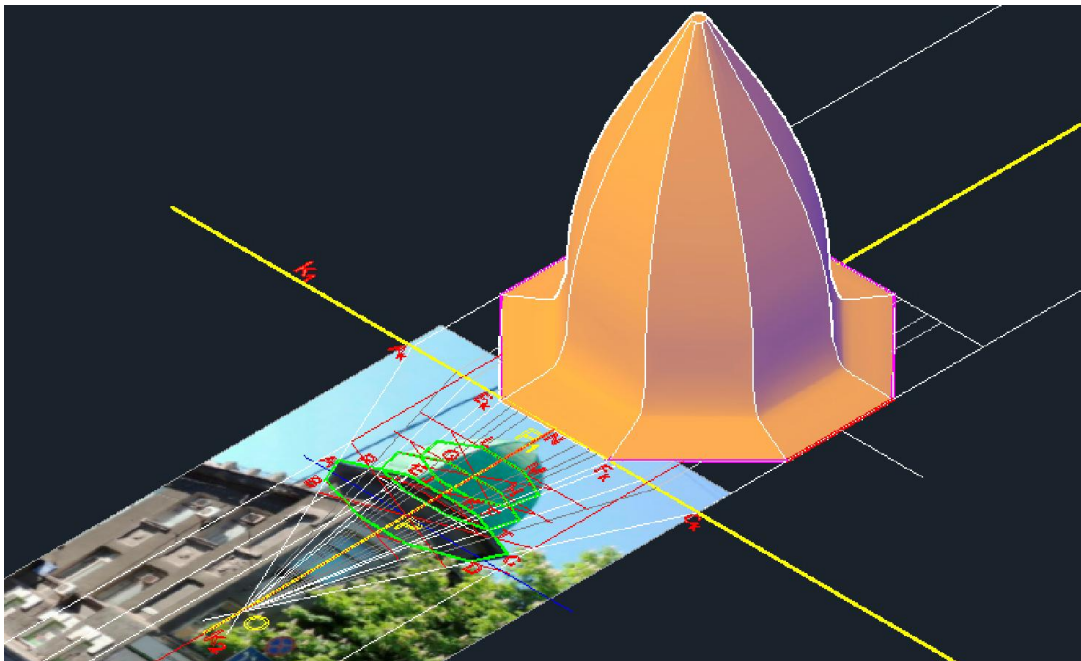


Рисунок 7 – Результат моделирования крыши по найденным относительным натуральным величинам

Выводы

Рассмотрен алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению применительно к реконструкции архитектурных сооружений с учетом перспективы с одной и тремя точками схода. Приводятся примеры программной реализации алгоритма. Результатом работы стало расширение возможностей работы алгоритма, такое как использование большего разнообразия фотоизображений, на основе которых возможна трехмерная реконструкция.

Список литературы

1. Руденко М. П. Способы виртуальной реконструкции памятников архитектуры [Текст] // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2015. – № 1(8)–2(9). – С. 110–117.
2. Белозерский Л. А. Автоматический контроль и коррекция положений автоматически расставленных точек геометрического согласования изображений разновременной спутниковой съемки [Текст] // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2017. – № 1 (4). – С. 3–15.
3. Котенко В. Н. Метод повышения качества выделения границ изображений с использованием алгоритма PARTICLE SWARM OPTIMIZATION [Текст] / В. Н. Котенко, И. Н. Полицук // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2016. – № 1 (2). – С. 53–63.
4. Руденко М. П. Инструментальные средства виртуальной реконструкции утраченных памятников архитектуры [Текст] // Информатика и кибернетика. – 2016. – № 2 (4). – С. 62–67.
5. Романова В. А. Визуализация образования поверхностей вращения / В. А. Романова, Г. Н. Оськина, Матъе Жиль-Ульбе // Вестник РУДН, серия Инженерные исследования. – 2014. – № 2. – С. 82–87.
6. Меньшикова Е. П. Градостроительство как элемент развития BIM-технологии [Текст] / Е. П. Меньшикова, А. М. Лола, У. А. Лола // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2019. – № 1 (12). – С. 64–70.

7. Романова В. А. Особенности изображения процесса образования поверхностей в системе AutoCAD [Текст] / В. А. Романова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. – № 4. – С. 3–5.
8. Иванов В. Н. Конструкционные формы пространственных конструкций (Визуализация поверхностей в системах MathCAD и AutoCAD) : монография / В. Н. Иванов, В. А. Романова. – М : Издательство АСВ, 2016. – 412 с., ил. 281.
9. Руденко М. П. Трехмерная реконструкция утраченных памятников архитектуры по фотографическому изображению методом перспективных масштабов [Текст] // Информатика и кибернетика. – 2018. – № 2(12). – С. 64–68.
10. Руденко М. П. Усовершенствованный алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению [Текст] / М. П. Руденко, А. А. Бабакина, В. В. Карабчевский // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2020. – № 1 (16). – С.75–88.
11. Климухин А. Г. Тени и перспектива. Учебник для вузов [Текст] – Москва : Архитектура-С, 2010. – 200 с.
12. Соловьев С. А. Черчение и перспектива [Текст] / С. А. Соловьев, Г. В. Буланже. – М. : Высшая школа, 1982. – 319 с.: ил.
13. Руденко М. П. Алгоритм трехмерного моделирования архитектурных сооружений по фотоизображению методом перспективных масштабов [Текст] / М. П. Руденко // Информатика и кибернетика. – 2019. – №2(16). – С. 89–95.
14. Руденко М. П. Применение алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению при моделировании сложных элементов архитектурных сооружений [Текст] / М. П. Руденко // Информатика и кибернетика. – 2019. – № 3(17). – С. 30–37.

References

1. Rudenko M.P. Sposoby virtual'noy rekonstruktsii pamyatnikov arkhitektury [Methods of virtual reconstruction of architectural monuments]. *Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii v nauках o prirode i obshchestve* [System analysis and information technology in the sciences of nature and society], 2015, No. 1 (8) – 2 (9), pp. 110-117.
2. Belozersky L.A. Avtomaticheskii kontrol' i korrektsiya polozheniy avtomaticheskii rasstavlennykh toчек geometricheskogo soglasovaniya izobrazheniy raznovremennoy sputnikovoy s"yemki [Automatic control and correction of positions of automatically spaced points of geometric alignment of images of satellite images of different times]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], Donetsk, GU IPII, 2017, No. 1 (4), pp. 3-15.
3. Kotenko V.N., Polishchuk I.N. Metod povysheniya kachestva vydeleniya granits izobrazheniy s ispol'zovaniyem algoritma PARTICLE SWARM OPTIMIZATION [A method for improving the quality of highlighting image boundaries using the PARTICLE SWARM OPTIMIZATION algorithm]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of Artificial Intelligence], Donetsk, GU IPII, 2016, No. 1 (2), pp. 53-63.
4. Rudenko M.P. Instrumental'nyye sredstva virtual'noy rekonstruktsii utrachennykh pamyatnikov arkhitektur [Instruments for virtual reconstruction of lost architectural monuments]. *Informatika i kibernetika* [Informatics and cybernetics], 2016, No. 2 (4), pp. 62-67.
5. Romanova V.A., Oskina G.N., Mathieu Gilles-Ulbe. Vizualizatsiya obrazovaniya poverkhnostey vrashcheniya [Visualization of the formation of surfaces of revolution]. *Vestnik RUDN, seriya Inzhenernyye issledovaniya* [Vestnik RUDN, series Engineering Research], 2014, No. 2, pp. 82-87.
6. Menshikova E.P., Lola A.M., Lola W.A. Gradostroitel'stvo kak element razvitiya BIM-tekhnologii [Urban planning as an element of the development of BIM technology]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], Donetsk, GU IPII, 2019, No. 1 (12), pp. 64-70.
7. Romanova V.A. Osobennosti izobrazheniya protsessа obrazovaniya poverkhnostey v sisteme AutoCAD [Features of the image of the surface formation process in the AutoCAD system]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy* [Structural mechanics of engineering structures and structures], 2012, No. 4, pp. 3-5.
8. Ivanov V. N., Romanova V. A. *Konstruksionnyye formy prostranstvennykh konstruksiy (Vizualizatsiya poverkhnostey v sistemakh MathCAD i AutoCAD) : monografiya* [Structural forms of spatial structures (Visualization of surfaces in MathCAD and AutoCAD systems): monograph], M., DIA Publishing House, 2016, 412 p., Ill. 281.
9. Rudenko M.P. Trekhmernaya rekonstruktsiya utrachennykh pamyatnikov arkhitektury po fotograficheskomu izobrazheniyu metodom perspektivnykh masshtabov [Three-dimensional reconstruction of lost architectural monuments from a photographic image using the perspective scale method]. *Informatika i kibernetika* [Informatics and cybernetics], 2018, No. 2 (12), pp. 64-68.

10. Rudenko M.P., Babakina A.A., Karabchevsky V.V. Uovershenstvovannyy algoritm sinteza modeley trekhmernykh ob"yektov po ikh izobrazheniyu [An improved algorithm for the synthesis of models of three-dimensional objects from their image]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], Donetsk, GU IPII, 2020, No. 1 (16), pp. 75-88.
11. Klimukhin A.G. *Teni i perspektiva. Uchebnik dlya vuzov* [Shadows and perspective. Textbook for high schools], Moscow, Architecture-S, 2010, 200 p.: Ill.
12. Soloviev S.A., Boulanger G.V. *Chercheniye i perspektiva* [Drawing and perspective], M., Higher school, 1982, 319 p.: Ill.
13. Rudenko M.P. Algoritm trekhmernogo modelirovaniya arkhitekturnykh sooruzheniy po fotoizobrazheniyu metodom perspektivnykh masshtabov [Algorithm for three-dimensional modeling of architectural structures by photo using the prospective scale method]. *Informatika i kibernetika* [Informatics and cybernetics], 2019, No. 2 (16), pp. 89-95.
14. Rudenko M. P. Primeneniye algoritma sinteza modeley trekhmernykh ob"yektov po ikh izobrazheniyu pri modelirovanii slozhnykh elementov arkhitekturnykh sooruzheniy [Application of the synthesis algorithm for models of three-dimensional objects from their image when modeling complex elements of architectural structures]. *Informatika i kibernetika* [Informatics and cybernetics], 2019, No. 3 (17), pp. 30-37.

RESUME

M. P. Rudenko

Synthesis Algorithm for Models of Three-Dimensional Objects by Their Image Using the Prospects with one and Three Points of Variable

The active use of information technology in areas such as architectural reconstruction leads to the search for increasingly advanced means of the environment three-dimensional modeling and reconstruction. The task of synthesizing a three-dimensional model of an object from its photo image is especially relevant, therefore, a whole series of algorithms and software designed to solve it have been developed. One of the factors affecting the effective work in three-dimensional reconstruction is the use of software that is familiar to specialists in this field, which does not require additional training and additional material costs.

In the work of architects and specialists involved in three-dimensional reconstruction from a photo image, the construction of an accurate geometric model occupies an important place, since modeling is a transition to the generation of drawings in which all the technical data of the model are displayed. A priority among graphical environments is AutoCAD using AutoLISP, which makes it possible to automate the solution of the construction problem. It is on the basis of this graphical environment that an algorithm for synthesizing models of three-dimensional objects from their images has been developed, which is an effective and suitable algorithm for three-dimensional reconstruction of architectural structures that meets the requirements of architects and other specialists in the field of the architectural environment design and reconstruction.

Since in previous publications the algorithm was shown to find the relative natural values of an architectural structure from its photo image based on a perspective with two vanishing points. That purpose of this work is to consider the synthesis algorithm for models of three-dimensional objects from their image when determining the relative natural values of an architectural structure, taking into account the perspective with one and three vanishing points.

An algorithm for the synthesis of models of three-dimensional objects from their image in relation to the reconstruction of architectural structures with a perspective with one and three vanishing points is considered. Examples of software implementation of the algorithm are given. The result was the expansion of the algorithm capabilities, such as the use of a wider variety of photo images, on the basis of which three-dimensional reconstruction is possible.

РЕЗЮМЕ

М. П. Руденко

Алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению с использованием перспективы с одной и тремя точками схода

Активное применение информационных технологий в таких сферах как архитектурная реконструкция приводит к поиску все более усовершенствованных средств трехмерного моделирования и реконструкции окружающей среды. Особенно актуальна задача синтеза трехмерной модели объекта по его фотоизображению, поэтому в настоящее время разработан целый ряд предназначенных для ее решения алгоритмов и программных средств. Одним из факторов, влияющих на эффективную работу при трехмерной реконструкции, является использование привычного для специалистов в этой области программного обеспечения, не требующего дополнительного обучения и дополнительных материальных затрат.

В работе архитекторов и специалистов, занимающихся трехмерной реконструкцией по фотоизображению, важное место занимает построение точной геометрической модели, так как моделирование является переходным путем к генерации чертежей, в которых отображаются все технические данные модели. Приоритетной среди графических сред является среда AutoCAD с применением AutoLISP, благодаря которому возможна автоматизация решения задачи построения. Именно на основе данной графической среды разработан алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям, который является эффективным и подходящим алгоритмом для трехмерной реконструкции архитектурных сооружений, отвечающим требованиям архитекторов и других специалистов в области проектирования и реконструкции архитектурной среды.

Так как в прошлых публикациях была показана работа алгоритма при отыскании относительных натуральных величин архитектурного сооружения по его фотоизображению на основе перспективы с двумя точками схода. То целью данной работы является рассмотрение алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению при определении относительных натуральных величин архитектурного сооружения с учетом перспективы с одной и тремя точками схода.

Рассмотрен алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению применительно к реконструкции архитектурных сооружений с учетом перспективы с одной и тремя точками схода. Приводятся примеры программной реализации алгоритма. Результатом работы стало расширение возможностей работы алгоритма, такое как использование большего разнообразия фотоизображений, на основе которых возможна трехмерная реконструкция.

Статья поступила в редакцию 19.03.2020.