

УДК 004.946

Реализация вычислительного метода синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям в виде комплекса программ для решения задач виртуальной реконструкции

М.П. Руденко

Донецкий национальный технический университет
e-mail: m.p.rudenko@mail.ru

Аннотация

В статье приведена реализация вычислительного метода синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению в виде программного комплекса для решения задач виртуальной реконструкции утраченных памятников архитектуры. Проведена проверка адекватности комплекса при моделировании эталонного объекта, а также сделано сравнение его работы с одним из популярных фотограмметрических редакторов, показавшее такие преимущества разработанного программного комплекса как полное управление процессом генерации экспертом, лучшие качественные характеристики полученной модели, небольшое время генерации, возможность генерации с использованием одного изображения, соответствие натурным измерениям эталонного объекта.

Введение

В настоящее время процесс восстановления трехмерной модели по изображениям является актуальной задачей компьютерного зрения. Активное использование трехмерной реконструкции с использованием иконографического материала в таких областях как архитектурное проектирование и реконструкция, археология, виртуальные музеи и т.д., подтверждает необходимость поисков более эффективных методов синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям, которые позволят сократить временные затраты при моделировании качественной модели.

Постановка задачи

Ниша компьютерных средств синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям, при малом количестве иконографического материала, до сих пор не заполнена в полной мере. Несмотря на многообразие методов и алгоритмов реконструкции, существующие средства, способные воссоздать трехмерную модель по достаточному числу фотографий без участия человека, генерируют модели, содержащие шумы и требующие, в связи с этим, их уточнения для обеспечения геометрической адекватности.

При решении прикладных задач моделирования в архитектуре и археологии с целью виртуальной реконструкции по фотоизображениям, являющимся единственным источником информации об утраченном

архитектурном сооружении, возникает необходимость в разработке алгоритмов реконструкции, которые бы позволили получить информацию об архитектурном сооружении даже при наличии единственного изображения с использованием дополнительной информации об объекте и учетом преимущественно простой формы геометрии объекта.

Известные существующие методы не в полной мере отвечают требованиям синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям, таким как качество получаемой модели, скорость генерации, возможность работы с ограниченным иконографическим материалом, возможность построения модели сложной формы [1-3]. Это обуславливает необходимость совершенствования методов и алгоритмического аппарата решения задачи реконструкции моделей трехмерных объектов по их изображениям, особенно для частных случаев общей задачи с учетом объективных ограничений [4,5].

На основе обзора методов, рассмотренных в таблице 1, аргументирована необходимость в разработке вычислительного метода и программного комплекса синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям, с целью обеспечения высокой точности реконструкции при ограниченном количестве иконографического материала и даже с использованием одного изображения, возможности построения моделей сложной формы, а также умеренной потребности в вычислительных ресурсах.

Таблица 1. Преимущества и недостатки методов синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям

Методы	Преимущества	Недостатки
ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ	1. Автоматическая идентификация образа; 2. Возможность использования ограниченного количества изображений для распознавания.	1. Автоматическая идентификация образа с применением методов обнаружения контуров затрудняется наличием шумовых и оптических эффектов, текстурированного фона, взаимного перекрытия объектов; 2. Вероятностный подход при трехмерной реконструкции подразумевает использование определенной библиотеки моделей базовых примитивов.
МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАБОРА ИЗОБРАЖЕНИЙ	1. Автоматическая и полуавтоматическая идентификация образа.	1. Использование набора фотоизображений для реконструкции, что не подходит для реконструкции по одиночным изображениям; 2. Поиск удачного значения матрицы вращения и фокусного расстояния, что требует ряд итераций; 3. Отсутствие верхней границы времени, необходимого для вычисления параметров модели; 4. Точная модель может быть определена с некоторой вероятностью, которая становится больше, чем больше сделано итераций.
МЕТОД ПРОЕКТИВНОЙ ГЕОМЕТРИИ	1. Возможность использования ограниченного количества изображений для распознавания; 2. Каркасная модель получается более точной и правильной по сравнению облачной и полигональной моделью;	1. Идентификация образа предполагает участие эксперта. 2. Известные решения не позволяют качественно реконструировать кривые линии и поверхности.

Вычислительный метод синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям

Исходя из общей постановки задачи, разработка вычислительного алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям, основанного на методе перспективных масштабов, позволяет создавать каркасную модель объекта без искажений с правильными пропорциями и отсутствием шумов с использованием даже одного фотоизображения с использованием дополнительной информации.

Последовательность синтеза моделей трехмерных масштабов, основанного на методе перспективных масштабов, включает ряд промежуточных этапов:

- определение точек схода для реконструкции архитектурного сооружения, изображенного на фотографии (одна точка схода, две точки схода, три точки схода);

- определение точки зрения для отыскания относительных натуральных величин перспективных линий архитектурного сооружения;
- отыскание относительных натуральных величин перспективных линий архитектурного сооружения, изображенного на фотографии;
- построение трехмерной модели архитектурного сооружения по найденным относительным натуральным величинам.

Входными данными служит одна фотография архитектурного сооружения, на которой с помощью эксперта наносятся опорные точки для дальнейших построений и вычислений.

Промежуточные этапы построения математической модели процесса, определяющего относительные натуральные величины архитектурного сооружения, изображенного на фотографии, по одной, двум и трем точкам схода описаны в [6,7].

Для того, чтобы избежать искажений при

построении кривых линий и поверхностей, в алгоритме синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям используется интерполяционный метод, описанный в [8].

Математическая модель процесса, определяющего относительную натуральную величину кривизны архитектурного сооружения, изображенного на фотографии, состоит из следующих промежуточных этапов:

- выбор способа отыскания относительной натуральной величины общего блока здания с учетом количества точек схода;
- применение численного метода при построении кривой формообразующей линии;
- сравнение результатов построения с применением и без применения численного метода.

Входными данными служит одна фотография архитектурного сооружения, на которой с помощью эксперта наносятся опорные точки для дальнейших построений и вычислений.

Для приближения искомой кривой был выбран метод интерполяции при помощи многочлена Лагранжа. Использование интерполяционного многочлена Лагранжа дает возможность построения математической модели криволинейных элементов при решении поставленной задачи независимо от среды компьютерной реализации алгоритма. Точность работы алгоритма зависит от правильности выбора опорных точек элементов реконструируемого объекта, т.е. от правильности указания соответствующих пикселей на изображении.

Доказано, что предложенный вычислительный метод синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям с использованием метода перспективных масштабов дает относительно простой, но качественный практический инструмент решения поставленной задачи в условиях ограниченного объема входных данных [9].

Программная реализация вычислительного метода

Реализация вычислительного алгоритма производится с помощью разработанного комплекса программ, включающего:

- программу на языке AutoLISP, встроенном в среду AutoCAD, и позволяющем разработать программу для выполнения любых геометрических построений;
- программный модуль в виде набора формул в Openoffice Calc для расчетов координат точек при построении кривых линий в качестве формообразующих элементов.

Полученная в AutoCAD модель может сохраняться для дальнейшей детализации и визуализации в других графических средах (3dMax, ArchiCAD, Cinema 4D и тд.).

Файлы расчетов с расширением .sxc открываются и обрабатываются в среде AutoCAD, что позволяет отображать результаты расчетов.

Входной информацией для создания трехмерной модели является графический файл, содержащий фотографию или другое изображение архитектурного сооружения, импортированные в рабочую среду AutoCAD. После чего на нее накладываются базовые точки для начала работы алгоритма.

Сам алгоритм состоит из следующих этапов, изображенных на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема алгоритма программы

При отыскании точек схода и опорных точек элементов модели действия выполняются в графическом диалоге, точность реконструкции трехмерной модели зависит от правильности указания этих точек.

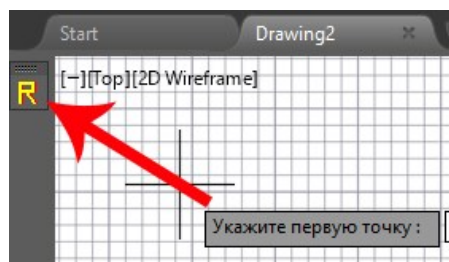
Для первичного построения трехмерной модели архитектурного сооружения, с учетом имеющейся дополнительной информации об объекте, одного изображения может оказаться достаточно. Для дальнейшего уточнения модели возможен импорт других изображений, при их наличии.

Далее работа алгоритма выполняется с помощью встроенного языка AutoLISP. Была создана программа под названием «Reson», которая запускается нажатием специальной кнопки, разработанной специально для среды AutoCAD (рис. 2а).

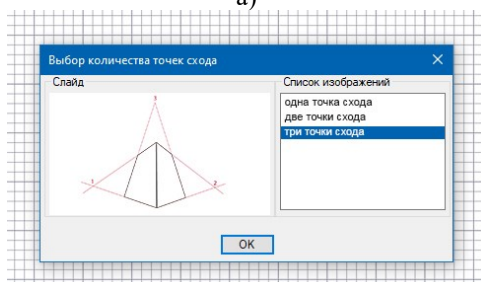
Выбор варианта отыскания точек схода зависит от положения архитектурного сооружения. На этапе подсказки выбора одной, двух или трех точек схода отображается диалоговое окно (рис. 2б).

Для того, чтобы пользователь определился с выбором точек схода, необходимо сравнить импортированную фотографию с изображением подсказкой.

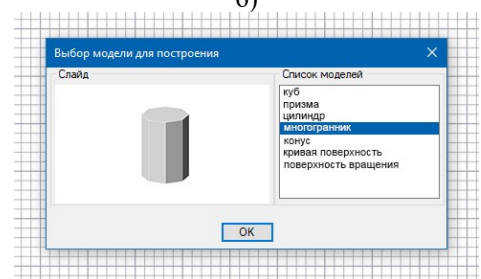
После выбора необходимого количества точек схода, пользователю предлагается нанести опорные точки на фотографию. В рабочем окне появится подсказка, откуда следует начинать наносить опорные точки. После нанесения опорных точек, программа выполняет построение выбранной части здания с вопросом о выборе базовой точки, а также с указанием вида базовой модели для первичного построения (рис. 2в).



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Примеры: а) отображение иконки модуля «Reson»; б) окно выбора количества точек схода; в) окно выбора модели для построения

Для компьютерного моделирования объектов, в которых кривая линия выступает формообразующим элементом, разработан плагин, обеспечивающий совместную работу AutoCAD и Openoffice Calc с помощью плагина OMA_dwg. Так как программа должна не только открыть книгу Openoffice Calc, но еще и обратиться к нужному листу, то в листе «Расчеты» для облегчения программирования введены дополнительные данные, которые уточняют характеристики, создаваемой в рисунке AutoCAD кривой. После формирования table_items программа ex_break_connect закрывает соединение с табличным процессором Openoffice Calc и выгружает его из памяти. При этом проверяется, какие глобальные переменные, содержащие указатели объектов Openoffice Calc, сформированы, и их объекты аннулируются с помощью функции vlah-releaseobject.

Так как в рабочей среде редактора AutoCAD моделирование изначально строится на геометрических примитивах, то архитектурные детали следует назначать в них. Например: крыша и карниз – призма, прямоугольный вид здания – параллелепипед, башня – цилиндр или N-угольная призма, крыша на башне – конус или поверхность вращения, кривой фасад здания – цилиндрическая поверхность.

Команда построения трехмерной модели будет работать до тех пор, пока будет запрос на построение.

Таким образом, трехмерная модель здания будет состоять из отдельных блоков, которые легче поддаются редактированию по сравнению со слитными моделями.

Проверка адекватности

Проведено испытание программного комплекса для моделирования эталонного объекта, а также было сделано сравнение полученной модели эталонного объекта с моделью, сгенерированной в фотограмметрическом редакторе Autodesk ReCap Photo. Данный редактор лучше всего справляется с задачей генерации трехмерной модели объекта по его фотографиям.

В результате эксперимента можно сделать вывод о том, что модель, полученная с помощью разработанного программного комплекса, отличается лучшими качественными характеристиками по сравнению с моделью, построенной в Autodesk ReCap Photo, так как не содержит шумов и искажений, которые отображаются в другой модели, а, следовательно, не требует дальнейшей ее доработки после генерации в графической среде AutoCAD.

Время генерации модели в Autodesk ReCap Photo составляет один час, процесс генерации неуправляем экспертом, а результат

зависит от правильно выравненных камер на фотоизображениях. Так как выравнивание камер происходит автоматически, то хорошего результата можно добиться путем нескольких итераций. Модель на выходе получается полигональной и содержит большое количество артефактов, а значит, ее редактирование в дальнейшем может занимать до 24 часов.

Компьютерная модель, полученная в разработанном программном комплексе, на выходе состоит из определенного количества блоков. Скорость генерации одного блока – от одной до трех минут. Количество блоков эталонного здания насчитывает семь, включая мелкие детали, такие как окна и декор над окнами. Процесс копирования деталей (окна и двери) занимает до одной минуты, а количество скопированных элементов составляет сто шесть

элементов. Процесс генерации полностью управляем экспертом, а полученная модель не требует дальнейшего редактирования контуров. Сравнение общего времени реконструкции модели в редакторе Autodesk ReCap Photo и полученной с помощью разработанного программного комплекса также показано в таблице 2.

Главным преимуществом разработанного комплекса программ является возможность генерации трехмерной модели объекта, используя одно изображение, что является невозможным для редактора Autodesk ReCap Photo.

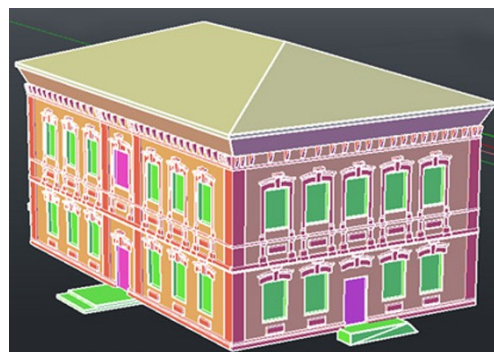
Сравнение результатов моделирования показано на рисунке 3.

Таблица 2 - Сравнение времени реконструкции модели в редакторе AutodeskReCapPhoto и полученной с помощью разработанного программного комплекса

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	AUTODESK RECAP PHOTO	РАЗРАБОТАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
Количество фотографий для первоначальной реконструкции (шт)	от 20ти по периметру здания	1 или 2
Время фотографирования (час)	от 20 минут (если рассчитывать 1 минуту на 1 фотографию)	-
Время генерации модели (час)	От 1 часа	От 1 до 3 минут на один блок (7 блоков) и 1 минута на копирование одного элемента с вставкой (106 элементов)
Дальнейшая доработка модели (час)	Требуется (AutoCAD или 3dsMax), до 24 часов	в AutoCADне требуется
Общее время реконструкции	26 часов	2-4 часа



а)



б)

Рисунок 3 - Сравнение результатов моделирования: а) модель, сгенерированная в Autodesk ReCap Photo; б) модель, полученная с помощью разработанного программного комплекса

Модель, полученная с помощью разработанного программного комплекса, отличается лучшими качественными характеристиками, по сравнению с моделью, построенной в одной из самых популярных систем –Autodesk ReCap Photo, такими как: полное управление процессом генерации экспертом; полученная модель не требует дальнейшего редактирования контуров; время генерации модели в ряде случаев может быть сокращено до 5 раз; возможность генерации модели с использованием одного изображения; соответствие натурным измерениям эталонного объекта.

Результаты применения разработанного программного комплекса приведены при виртуальной реконструкции частично или полностью утраченных памятников архитектуры г. Донецка по сохранившимся фотоизображениям времен Старой Юзовки и подробно описаны в [10-12].

Выводы

Таким образом, выявлены следующие преимущества разработанного программного комплекса: полное управление процессом генерации экспертом; полученная модель не требует дальнейшего редактирования контуров; время генерации в ряде случаев может быть сокращено до 5 раз; возможность генерации с использованием одного изображения; соответствие натурным измерениям эталонного объекта.

Перспективным направлением дальнейшего усовершенствования программного комплекса является задача трехмерной реконструкции объектов культурного наследия, не являющимися архитектурными объектами.

Литература

1. Крейдун Ю.А. Построение пространственных моделей утраченных архитектурных памятников по одиночным изображениям /Ю.А. Крейдун, С.И. Жилин // Ползуновский вестник, № 3, 2004. – С. 83-88.
2. Меженин А.В. Реконструкция трехмерных моделей по растровым изображениям / А.В. Меженин, В.Т. Тозик // Научно-технический вестник информационных технологий, механики, оптики, № 45, 2007. – С. 203-207.
3. Захаров А.А. Трехмерная реконструкция визуальной обстановки по видеоизображениям на основе вероятностного подхода / А.А. Захаров, А.Ю. Тужилкин // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, № 2, 2014. – С. 45-49.
4. Хапаев, В.В. Компьютерная 3D реконструкция античного и средневекового

города Херсонес Таврический: опыт, проблемы и перспективы [Текст] / В.В. Хапаев, И.В. Бацура // Историческая информатика. – 2018. – № 4. – С. 39 - 56.

5. Виртуальная реконструкция историко-культурного наследия в форматах научного исследования и образовательного процесса: сб. науч. ст. [Текст] / под ред. Л.И. Бородкина, М.В. Румянцев, Р.А. Барышева. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 196 с.

6. Руденко, М.П. Алгоритм трехмерного моделирования архитектурных сооружений по фотоизображению методом перспективных масштабов / М.П. Руденко // Информатика и кибернетика, Донецк, ДонНТУ, 2019. – №2(16). – С. 89-95.

7. Руденко, М.П. Алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям с использованием перспективы с одной и тремя точками схода / М.П. Руденко //Проблемы искусственного интеллекта, Донецк, ГУ ИПИИ, 2020. – №2 (17). – С. 83-93.

8. Руденко, М.П. Усовершенствованный алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям/ М.П. Руденко, А.А. Бабакина, В.В. Карабчевский // Проблемы искусственного интеллекта, Донецк, ГУ ИПИИ, 2020. – №1 (16). – С. 75-88.

9. Руденко, М.П. Моделирование сложных элементов архитектурных сооружений методом перспективных масштабов / М.П. Руденко // Информатика и кибернетика, Донецк, ДонНТУ, 2019. – №3(17). – С. 30-37.

10. Руденко, М.П. Применение алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям при трехмерной реконструкции архитектурных сооружений / М.П. Руденко // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы VII Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 20 - 25 апреля 2020 г. – М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. Волгоград: ВолгГТУ, 2020. – С. 384-385.

11. Руденко, М.П. Реконструкция утраченных архитектурных сооружений с использованием алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям/ М.П. Руденко, В.В. Карабчевский // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию СГТУ, «Геометрическое и компьютерное моделирование в подготовке специалистов для цифровой экономики» / г.Саратов, 2020. – С. 79-84.

12. Руденко, М.П. Виртуальная реконструкция утраченных памятников архитектуры с применением алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям / М.П. Руденко // Искусственный

интеллект: теоретические аспекты, практическое применение: материалы Донецкого международного научного круглого стола. – ГУ ИПИИ / г.Донецк, 2020. – С. 170-175.

Руденко М.П. Реализация вычислительного метода синтеза моделей трехмерных объектов по их изображениям в виде комплекса программ для решения задач виртуальной реконструкции. В статье приведена реализация вычислительного метода синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению в виде программного комплекса для решения задач виртуальной реконструкции утраченных памятников архитектуры. Проведена проверка адекватности комплекса при моделировании эталонного объекта, а также сделано сравнение его работы с одним из популярных фотограмметрических редакторов, показавшее такие преимущества разработанного программного комплекса как полное управление процессом генерации экспертом, лучшие качественные характеристики полученной модели, небольшое время генерации, возможность генерации с использованием одного изображения, соответствие натурным измерениям эталонного объекта.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, вычислительные методы, автоматизация, программный комплекс, фотограмметрия, редакторы, синтез моделей трехмерных объектов.

Rudenko M.P. Software implementation of the three-dimensional objects models synthesis method from their images solving virtual reconstruction problems. The article presents software implementation of the three-dimensional objects models synthesis images from their method solving virtual reconstruction problems of lost architectural monuments . The adequacy of the complex was checked when modeling a reference object, and a comparison of its work with one of the popular photogrammetric editors was made, which showed such advantages of the developed software package as complete control of the generation process by an expert, better quality characteristics of the resulting model, short generation time, the possibility of generating using one images, compliance with natural measurements of the reference object.

Keywords: three-dimensional modeling, computational methods, automation, software package, photogrammetry, editors, the three-dimensional objects models synthesis.

Статья поступила в редакцию 12.05.2023
Рекомендуется к публикации профессором Мальчевой Р. В.