

Исследование временных характеристик алгоритма восстановления каркасной модели по проекционным изображениям

Т.В. Мошкова¹, С.А. Роменский¹, С.И. Ротков¹, В.А. Тюрина¹
 ng.forever.mtv@gmail.com|romensky.serge@gmail.com|rotkov@nngasu.ru|55555_73@mail.ru
¹ННГАСУ, Нижний Новгород, Россия

В данной статье рассматриваются экспериментальные данные вычислительной сложности алгоритма формирования трехмерной каркасной модели.

Ключевые слова: синтез модели, пространственный объект, проекции, чертеж, каркасная модель.

Research for time characteristics of algorithm of reconstructing wireframe model from projection images

T.V. Moshkova¹, S.A. Romensky¹, S.I. Rotkov¹, V.A. Tyurina¹
 ng.forever.mtv@gmail.com|romensky.serge@gmail.com|rotkov@nngasu.ru|55555_73@mail.ru
¹NNGASU, Nizhny Novgorod, Russia

In this article considered experimental data for computational complexity of algorithm of reconstructing 3D wireframe model.

Keywords: model synthesis, spatial object, projections, drawing, wireframe model.

1. Введение

Проблема преобразования бумажных архивов чертежно-конструкторской документации является одной из ключевых задач внедрения и реализации проекта «Цифровое производство» [8]. Среди множества задач, которые направлены на решение поставленной проблемы, является задача синтеза геометрической модели пространственного объекта по его проекциям. В разное время были осуществлены попытки программной реализации указанной задачи, но только одна была доведена до уровня действующей программы [7]. Эта разработка имела ограничения на количество вершин и ребер синтезируемой модели, что обусловлено имевшимися на тот период времени возможностями как ЭВМ, так и средств разработки программ. Для решения проблемы преобразования бумажных архивов возникла необходимость полной программной переработки как алгоритма, так и его программной реализации. В работе [2] проведен детальный анализ имеющихся в мире алгоритмических и программных разработок по проблеме синтеза модели пространственного объекта по изображениям на поле многовидового технического чертежа, однако ни одна из имеющихся публикаций по этой проблеме не затрагивает вопрос о вычислительных характеристиках.

Данная статья посвящена исследованию временных характеристик алгоритма восстановления каркасной модели по проекционным изображениям, который является частью большого программного комплекса, предназначенного для формирования электронной модели изделия на основе бумажного архива чертежно-конструкторской документации [8]. Формально алгоритм восстановления каркасной модели на основе проекционных изображений описан в [1,6], в этом докладе лишь конкретизируются моменты, связанные с его программной реализацией.

Необходимые двумерные геометрические данные разработанная программная реализация получает при помощи СОМ-объектов из системы автоматизированного проектирования «Компас-3D». Данный способ и его реализация описаны в [4,3,5].

2. Описание алгоритма формирования трехмерной каркасной модели и доказательство его вычислительной сложности.

Первый этап формирования трехмерной каркасной модели – получение двумерной геометро-графической информации прикладной программой. Учитывая, что способ получения двумерных данных в каждой конкретной программной реализации может отличаться, при определении временных характеристик не будем рассматривать данный этап. В основном получаемая двумерная информация имеет свою локальную систему координат (ЛСК), не связанную с будущей трехмерной моделью. Чтобы иметь возможность построения каркасной модели, необходимо преобразовать имеющуюся систему координат проекционных изображений в эпюр Монжа, содержащий информацию уже о трех (x,y,z) координатах. Укрупненный алгоритм данного преобразования координат представлен на рис. 1

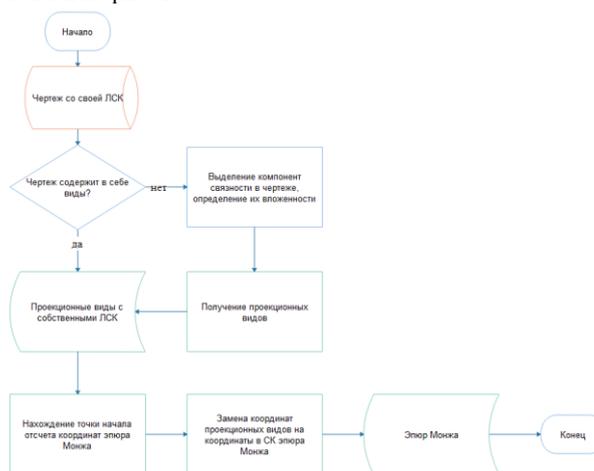


Рис. 1. Блок-схема алгоритма получения геометро-графической информации на основе эпюра Монжа.

Вычислительная сложность данного этапа напрямую зависит от способа хранения геометро-графической информации внутри прикладной программы. В экспериментальной программной реализации все вершины на проекционных изображениях хранятся в виде односвязного списка. В среднем, на каждом проекционном изображении находится равное количество точек, то есть

при обработке только одно проекционное изображение используется треть от общего числа вершин.

В реализованном алгоритме этап получения геометрической информации из внешнего источника представляет собой чтение координат всех вершин на проекционных изображениях и их преобразование в систему координат эпохи Монжа, что соответствует вычислительной сложности $O(m)$, где m – количество вершин на проекционных изображениях.

Вторым этапом получения трехмерной каркасной модели является построение точечной трехмерной модели, которая представляет собой облако точек, никак не связанных между собой. Каждая вершина данной модели получается следующим образом:

1. на одном из проекционных изображений рассматривается какая-либо точка, например, на виде спереди, получая таким образом сведения о координатах (x_1, z_1) будущей трехмерной вершины;

2. следует найти все пары подходящих по одной из координат (x_1 или z_1 в нашем примере) вершин на другом проекционном изображении. Например, на виде сверху есть две подходящие вершины – (x_1, y_1) и (x_1, y_2) ;

3. на третьем проекционном изображении необходимо найти точки с координатами из двух предыдущих шагов. В нашем примере это вершины с координатами (y_1, z_1) и (y_2, z_1) ;

4. если данные вершины существуют на проекционном изображении, то данные трехмерные точки есть и в трехмерной точечной модели. В примере это точки с координатами (x_1, y_1, z_1) и (x_1, y_2, z_1) .

Учитывая, что поиск по списку имеет сложность $O(l)$, где l – длина списка, вычислительная сложность этапа формирования трехмерной точечной модели определяется следующим выражением:

$$O(m/3) * (O(m/3) + O(m/3)) = 2 * O(m/3)^2 = O(m^2/9) = O(m^2),$$

где m – количество вершин на проекционных изображениях.

На третьем этапе путем добавления ребер в точечную модель получается искомая каркасная трехмерная модель. Ребра добавляются, исходя из следующего утверждения: если для точек (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) верно что на соответствующих проекционных изображениях существуют ребра $(x_1, z_1)-(x_2, z_2)$; $(x_1, y_1)-(x_2, y_2)$; $(y_1, z_1)-(y_2, z_2)$ или соответствующие точки совпадают, то, скорее всего, существует ребро $(x_1, y_1, z_1)-(x_2, y_2, z_2)$.

Решение этой задачи возможно двумя способами.

Первый способ формирования списка ребер трехмерной каркасной модели состоит в поиске ребер между всеми вершинами:

1. для каждой вершины взять все последующие за ней в списке трехмерной точечной модели;

2. для каждой пары вершин проверить связь на всех трех проекциях, то есть выполнить поиск на всех трех проекционных изображениях проекций обеих точек и сверить списки их ребер.

Вычислительная сложность первого этапа – $O(n^2)$, сложность второго этапа – $3 * O(m)$, таким образом сложность данного способа формирования списка ребер каркасной модели – $O(n^2) * 3 * O(m) = O(n^2 * m)$, где n – количество вершин в трехмерной точечной модели

Второй способ формирования списка ребер трехмерной каркасной модели, использованный в реализованном алгоритме, состоит в реализации следующих шагов:

1. найти проекцию на две координатные плоскости для каждой вершины из списка точечной модели – сложность этапа $2 * O(m)$;

2. для каждой проекции, используя список связанных вершин, найти восстановленные в точечной модели вершины – сложность этапа $O(k * n)$ (k – среднее количество ребер, исходящих из вершины);

3. проверить наличие связи на трёх проекционных изображениях начальной вершины и каждой из вершин, полученных на втором этапе при помощи сверки списка проекций ребер – сложность этапа $3 * O(m)$.

Таким образом получаем, что вычислительная сложность данного способа формирования списка ребер трехмерной каркасной модели равна $2 * O(m) * O(k * n) * 3 * O(m) = 6 * O(m^2 * k * n) = O(m^2 * k * n)$.

Исходя из вышеописанных этапов формирования каркасной трёхмерной модели на основе проекционных изображений, получаем следующую вычислительную сложность реализованного алгоритма:

$$O(m) + O(m^2) + O(m^2 * k * n) = O(m^2 * k * n),$$

где m – количество точек на проекционных изображениях; k – среднее количество ребер, исходящих из одной вершины; n – количество вершин в трехмерной точечной модели.

3. Подтверждение сложности алгоритма экспериментальными данными

Первый вид эксперимента – сравнение скорости построения трехмерной модели путем ручного ввода геометрической информации в САПР и автоматизированного построения трехмерной каркасной модели. В среднем на создание простой трехмерной модели тратится от 2 до 5 минут. Экспериментальная программная реализация показывает результат уже через 0.5-3 секунды после запуска процесса чтения двумерной информации на простых трехмерных моделях.

Вышеизложенные результаты эксперимента позволяют говорить об ускорении процесса получения трехмерной модели по проекционным изображениям в 60-200 раз по сравнению с предлагаемой в системах геометрического моделирования и компьютерной графики технологией формирования пространственной модели из 3D примитивов с применением аппарата булевых операций и операций формообразования (выдавливания, вращения и кинематических) в зависимости от сложности восстанавливаемой модели и мощности центрального процессора. Такое ускорение процесса обработки позволит обработать большое количество архивных бумажных чертежей за достаточно приемлемое время.

Второй вид эксперимента – сравнение времени, которое тратится алгоритмом на выполнение своих различных составных частей: реализацию операций чтения чертежа, получения точечной трехмерной модели и её преобразования в каркасную.

Первая часть исследования проводилась на несложных трехмерных моделях – до 100 вершин. Эксперимент показал, что самый большой процент времени тратится на получение геометрической информации из внешнего источника – до 99%. После выполнения операции чтения вся двумерная геометрическая информация помещается в виртуальное адресное пространство разработанного программного комплекса и соответственно на доступ к ней тратится существенно меньше времени. На экспериментальных чертежах время восстановления точечной и каркасной моделей не превышало 1 мс.

Вторая часть исследования включала в себя более сложные модели – более 100 вершин. Данные, полученные в ходе исследования, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Временные характеристики разработанного алгоритма

Количество вершин	Общее время восстановления, сек.	Время чтения двумерных данных, сек.	Время восстановления точечной модели, сек.	Время получения каркасной модели, сек.
844	29.859	28.125	0.5	1.234
2440	206.547	185.140	1.282	20.125
15616	424.969	95.156	14.78	315.735

Из проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. на моделях до 1000 вершин около 90% времени занимает чтение геометро-графической информации из внешнего источника и лишь 10% - собственно формирование точечной и каркасной моделей;
2. экспериментальные данные показывают сложность формирования точечной трехмерной модели $O(n)$, где n – количество вершин в обрабатываемой модели;
3. экспериментальные данные показывают сложность алгоритма формирования каркасной трехмерной модели $O(k*n)$, где n – количество вершин в обрабатываемой модели, k -среднее количество ребер, исходящих из одной вершины.

4. Заключение

Экспериментальная программная реализация позволяет ускорить процесс создания трехмерной каркасной модели в 60-200 раз (в зависимости от сложности модели) по сравнению с созданием этой модели ручным способом в одной из САПР.

5. Благодарности

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 17-07-00543.

6. Литература

- [1] Котов И.И., Полозов В.С., Широкова Л.В. Алгоритмы машинной графики. М., Машиностроение, 1977 г., 270 стр.
- [2] Т. В. Мошкова, С. И. Ротков, В. А. Тюрина Проблема синтеза модели 3D объекта по его проекционным изображениям. Аналитический обзор. // Журнал «Научная визуализация», 2018, т.10, №1, стр.135-156
- [3] Роменский, С.А. Обеспечение информационной совместимости между различными системами автоматизированного проектирования // Сборник трудов конференции регионального значения XX Нижегородская сессия молодых ученых. Естественные, математические науки.: сб.тр. рег.конф., 19-22 мая 2015г., г. Арзамас, 2015г.
- [4] Роменский, С.А. О проблеме передачи данных между пользовательскими программами в информационных технологиях //Сборник трудов аспирантов, магистрантов и соискателей. Технические науки. Науки о Земле. Экология. - Н.Новгород: ННГАСУ, 2015. С. 119-126
- [5] Роменский, С.А. Передача геометро-графической информации из системы автоматизированного проектирования в прикладную программу на примере САПР “Компас-График” // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2015): сб. тр.

- [6] Роменский С.А., Ротков С.И., Смычек М.М., Тюрина В.А. Синтез 3D модели объекта по изображениям на поле чертежа // 26-я Международная конференция (GraphiCon 2016), Нижний Новгород, 19-23 сентября 2016 г.
- [7] Ротков, С.И. Средства геометрического моделирования и компьютерной графики пространственных объектов для CALS-технологий: Дис. докт. техн. наук: 05.01.01 / С.И. Ротков. – Н. Новгород, 1999. – 287 с.
- [8] Ротков С.И., Попов Е.В., Мошкова Т.В., Тюрина В.А., Васин Д.Ю., Роменский С.А. Макаров Н.Л., Чепкасов В.Л. Проблема преобразования бумажных архивов чертежно-конструкторской документации в электронную модель изделия и связанные с ней геометро-графические задачи // Труды 27 Международной научно-практической конференции GraphiCon 2017 (Пермь, 24-28 сентября 2017 г.) – Пермь: ПГНИУ, 2017, С. 20.

Об авторах

Мошкова Татьяна Владимировна, к.т.н., доцент, профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: ng.forever.mtv@gmail.com.

Роменский Сергей Александрович, аспирант кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: romensky.serge@gmail.com.

Ротков Сергей Игоревич, д.т.н., проф., зав. кафедрой Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail:rotkov@nngasu.ru.

Тюрина Валерия Александровна, к.т.н., доцент, профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: 55555_73@mail.ru.