

# Автоматизация 3D моделирования объектов городской среды по атрибутивной информации с цифровой карты

М.П. Осипов<sup>1</sup>, О.А. Чекодаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет, Национальный исследовательский университет, пр. Гагарина 23, Нижний Новгород, Россия, 603950

**Аннотация.** Описан метод генерации трехмерных моделей объектов городской среды по атрибутивной информации с цифровой карты. Приведены алгоритмы для автоматизации процесса моделирования объектов городской среды. Предложена гибкая и расширяющаяся структура, позволяющая генерировать как уже имеющиеся в классификаторе типы объектов, так и новые, добавленные пользователем.

## 1. Введение

3D модель городской среды широко используется в различных сферах деятельности, таких как строительство и архитектура, культура и образование, реклама и развлечения. Трехмерная модель объекта в отличие от двумерного схематического представления карт позволяет человеку воспринимать информацию в привычной для себя пространственной форме. Анализ такой информации не требует специальных технических знаний, поэтому принятие решений на основе представленной информации происходит значительно быстрее и проще. Визуализация 3D модели в режиме реального времени дает возможность полностью погрузиться в пространство модели и тем самым передать пользователю наиболее полную информацию об объекте. Такой подход позволяет получить опыт эксплуатации объектов ещё на этапе разработки их концепции. В частности, 3D модель объектов городской среды облегчает взаимодействие проектировщиков и инвесторов. Встройка модели будущего объекта (здания) в модель окружающей застройки, позволяет провести визуально-ландшафтный анализ, оценить влияние будущего объекта на внешний вид исторической застройки проанализировать обзорность с учетом высотности сооружений. В городском управлении 3D модель позволяет проводить инженерные расчёты и планировать социальную инфраструктуру, изучать возможные последствия чрезвычайных ситуаций и моделировать действия спецслужб [1-4].

Создание модели городской среды может производиться вручную, полуавтоматически или автоматически. Автоматическое моделирование производится программным обеспечением на основе результатов воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки [5, 6]. Такой подход отличает высокая скорость генерации модели, однако геометрия такой модели может быть искажена вследствие перекрытия объектов и несовершенством существующей аппаратуры и алгоритмов. Ручное и полуавтоматическое моделирование городской среды позволяет избежать искажения геометрии, но такой процесс является достаточно трудоемким, поскольку моделирование либо полностью, либо частично происходит посредством оператора [7,8]. Источником данных для создания модели выступает цифровая карта местности. Автоматизация методов моделирования призвана максимально сократить долю ручного труда.

## 2. Формулировка проблемы

Автоматизация методов моделирования трехмерных объектов городской среды достигается за счет разработки алгоритмов “процедурного моделирования” с использованием как готовых 3D моделей объектов, так и полностью сгенерированных на основе атрибутивной информации цифровой карты. Под термином “процедурное моделирование” понимается автоматическое создание трехмерных моделей объектов с использованием определенных правил пространственного моделирования на основе различной информации, содержащейся в цифровой карте. Основными преимуществами такого подхода являются высокая скорость создания модели городской среды, метрическая точность модели, достаточная гибкость в редактировании. Недостатком является недостаточная фотореалистичность полученной модели. Методы, использующие “процедурное моделирование”, распределяют все объекты по типам построения их 3D модели [9,10]. Правила генерации 3D модели каждого типа построения, как правило, формируются отдельно и независимо друг от друга, что не позволяет обеспечить гибкость и расширяемость процесса генерации модели городской среды. Например, при создании нового типа построения модели объекта приходится “с нуля” разрабатывать алгоритм генерации 3D модели этого типа.

Цель работы состоит в разработке алгоритмов автоматизации процесса моделирования объектов городской среды по атрибутивной информации с цифровой карты. Задача работы состоит в выделении общих принципов построения геометрии и текстурирования модели (типов построения), разработке на основе этих принципов, алгоритмов построения и создании иерархической структуры типов построения 3D модели объекта, позволяющей облегчить процесс редактирования правил построения и автоматизировать процесс создания новых типов построения 3D модели объекта.

## 3. Методы генерации 3D моделей городской среды

Модель городской среды включает в себя цифровую модель рельефа и модели объектов городской среды.

Цифровая модель рельефа городской среды строится на основе высотной информации (горизонталы, отметки высот и т.п.), содержащейся в цифровой карте. Разработаны быстрые алгоритмы автоматического формирования такой модели посредством триангуляции Делоне [11] и последующей её перестройкой в соответствии с формой рельефа местности, заданной набором структурных линий из цифровой карты.

Объектами городской среды выступают здания и сооружения, дороги, газоны, тротуары, водные объекты, элементы инфраструктуры и т.д. Большинство моделей таких объектов может быть сгенерировано вручную заранее в редакторе трехмерного моделирования. Информация о готовой 3D модели и её положении может быть сохранена в цифровой карте. В случае отсутствия готовой модели, её генерация осуществляется автоматически на основе атрибутивного описания объекта из цифровой карты местности. Человеческий мозг с легкостью может сопоставить реальный объект с его унифицированной 3D моделью, что позволяет типизировать объекты городской среды [12]. Поэтому предлагается все объекты городской среды разделить на типы их представления и разработать алгоритмы генерации 3D модели объектов каждого типа. Объекты по типу представления можно подразделить на две большие группы: содержащие метрическую информацию и дискретные.

Дискретные объекты – это типовые для городской среды объекты, не имеющие метрического описания: деревья, остановки, светофоры и др. Каждый такой тип объекта может иметь различное описание, представленное списком характеристик. Это может быть тип материала, возраст, габариты и т.п. Поскольку список возможных характеристик данного типа объекта в цифровой карте известен и для конкретного объекта меняется только их набор, предлагается заранее сформировать базу данных готовых 3D моделей типовых объектов и текстур, представляющих различные комбинации их характеристик. Атрибутивная информация дискретных объектов в цифровой карте также содержит информацию о расположении объекта на местности. В таком случае, дискретные объекты не генерируются, а представляются готовыми 3D моделями, которые загружаются в программу из библиотеки типовых 3D

моделей. Если же дискретные объекты имеют характеристики, позволяющие автоматически сгенерировать их геометрию, они выделяются в отдельные классы генерации.

Объекты, имеющие метрические характеристики будут генерироваться автоматически. К таким объектам относятся здания, ограждения, дорожная сеть, водные объекты и т.п. Каждый такой объект должен иметь описание в виде представления его контура и списка характеристик. Например, для здания это материал, назначение здания, год постройки, этажность и т.п. Предлагается заранее сформировать библиотеку стандартных текстур, характеризующих возможные наборы характеристик конкретного объекта. Геометрическая модель таких объектов генерируется автоматически по контурному представлению и списку характеристик, хранящемуся в цифровой карте. Так же на основе указанных характеристик будет выбираться нужная текстура для этой модели из библиотеки стандартных текстур. Общую схему работы данного принципа можно увидеть на рисунке 1.



Рисунок 1. Общая схема работы.



Рисунок 2. Схема распределения объектов по начальным классам.

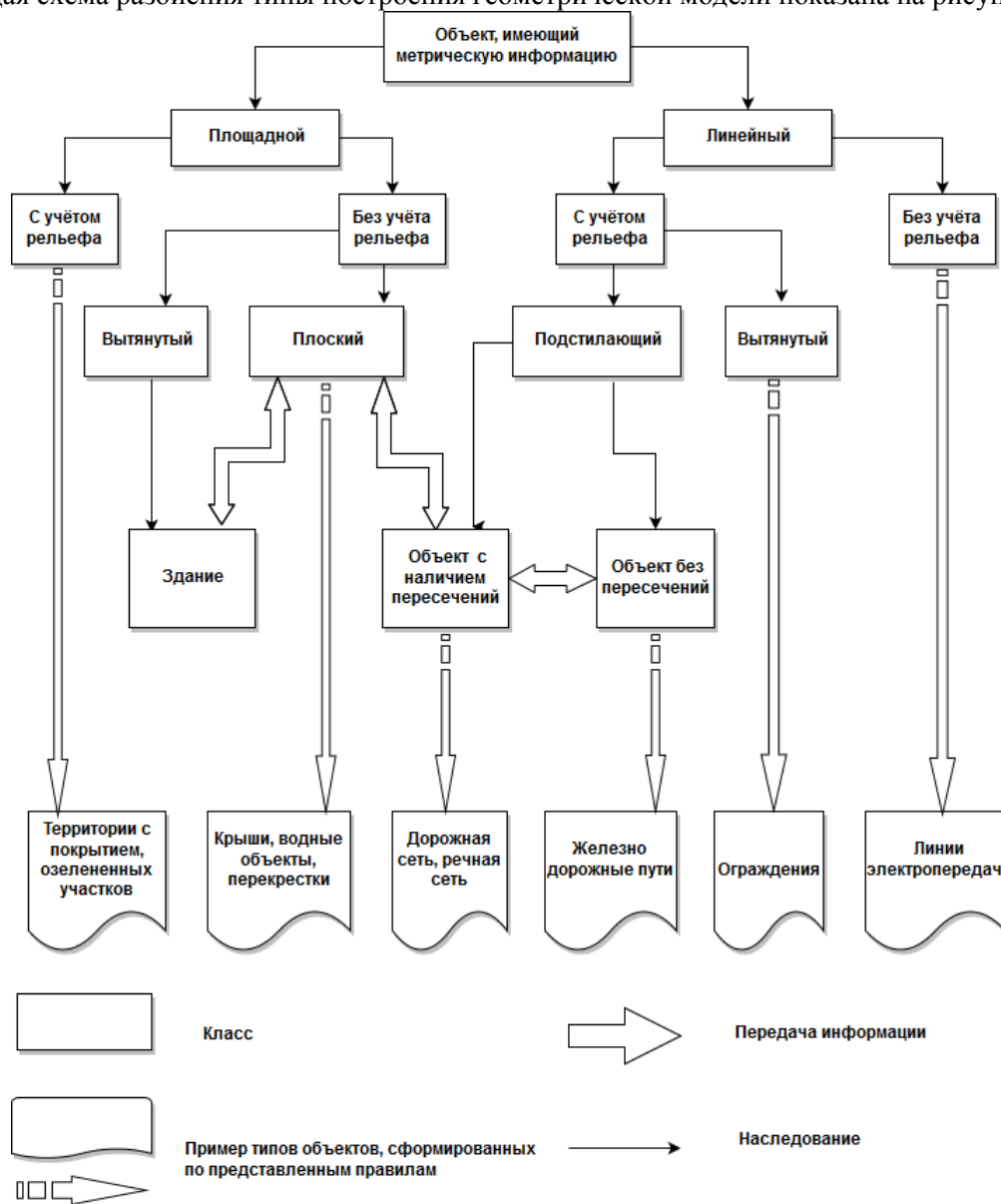
Все автоматически генерирующие объекты городской среды разбиваются по классам в зависимости от методов построения их геометрии. Классы представляют собой иерархическую структуру, каждая следующая ступень иерархии является модификацией более общего геометрического построения модели на предыдущей ступени. Таким образом, для отрисовки добавленного в классификатор объекта достаточно указать к какому классу этот объект

принадлежит. На рисунке 2 представлена блок-схема распределения объектов из базы по начальным классам.

В случае генерации объекта сложной формы, необходимо разбить объект на составные объекты, форма которых может быть сгенерирована существующими классами построения. Эти составные объекты должны иметь характеристики-связи, позволяющие хранить информацию об отношениях составных объектов между собой. Например, объект "ограждение с колоннами" разбивается на несколько объектов линейный "ограждение" и дискретные "колонны". У "ограждения" хранятся прерывания в точках метрики, где к нему примыкают "колонны".

Рассмотрим более подробно блоки, определенные на рисунке 2, как "Генерация модели по метрическому описанию". Разбиение по классам основывается на различных характеристиках объектов, которые позволяют выделить общие алгоритмы построения геометрии и текстурирования модели.

Общая схема разбиения типы построения геометрической модели показана на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Общая схема разбиения на типы построения геометрической модели.

Разделение на типы построения модели производится по следующему принципу. Объекты, содержащие метрическую информацию подразделяются на площадные и линейные. В свою

очередь, площадной и линейный объекты могут быть привязаны к особенностям рельефа местности либо нет. Например, к линейному объекту, не привязанному к рельефу, относятся висящие в воздухе линии электропередач, трубы и т.п.

Площадной объект, не привязанный к особенностям рельефа может быть плоским или вытянутым. Плоский объект строится путем триангуляции внутри заданного контура. Таким объектом может выступать, например, озеро, плоская крыша дома. Геометрия вытянутого объекта представляется набором вертикальных прямоугольников, полученных путем вытягивания отрезков метрического описания на заданную высоту. Примером таких объектов выступают здания.

Геометрия площадного объекта, привязанного к особенностям рельефа, представляет собой поверхность, состоящую из набора треугольников (частей треугольников) рельефа местности попавшего внутрь заданного контура этого объекта. К такому типу объектов относятся элементы подстилающей, такие как территория с покрытием, озелененная территория, площадь и т.п.

Линейные объекты, привязанные к особенностям рельефа, подразделяются на два типа: вытянутые или подстилающие (являющиеся частью земной поверхности). Геометрия вытянутых линейных объектов аналогична геометрии вытянутого площадного объекта. В качестве таких объектов могут выступать различные ограждения.

В следствии различной конфигурации расположения подстилающих линейных объектов между собой, такие объекты могут требовать формирование пересечений при их моделировании.

Геометрия подстилающих линейных объектов, не требующих формирование пересечений, строится в виде набора связанных четырехугольников полученных путем вытягивания отрезков метрического описания на заданную ширину. Причем высота каждой точки полученного четырех угольника должна соответствовать высоте рельефа в этой точке. Примером такого типа объектов выступают участки дорог без перекрестков.

Подстилающие линейные объекты, требующие формирование пересечений, разбиваются на несколько частей следующего типа: подстилающие линейные объекты, геометрия которых описывалась выше, и непосредственно область пересечений. Формирование геометрической модели, описывающей область пересечения набора линейных объектов, является непростой задачей и будет описана отдельно. К такому типу объектов относятся дорожная сеть, речная сеть и т.п.

Текстурирование построенных моделей производится по информации из набора характеристик, описывающих моделируемый объект. Нужная текстура автоматически извлекается из библиотеки стандартных текстур, характеризующих возможные наборы характеристик объектов. Принцип текстурирования будет рассмотрен ниже на примере модели здания.

#### 4. Формирование областей пересечений линейных объектов

Такие линейные объекты, как дорожная сеть и речная сеть являются протяженными и имеют в своем составе перекрестки и разветвления. В таких местах при обычном алгоритме формирования модели линейного объекта произойдет перекрытие объектов, что приводит к некачественному отображению данных областей. Чтобы этого избежать, было принято решение разделить алгоритм построения модели линейных объектов с пересечениями на три этапа формирования участков: участки вдали от пересечения, участки вблизи пересечения, сами области пересечения.

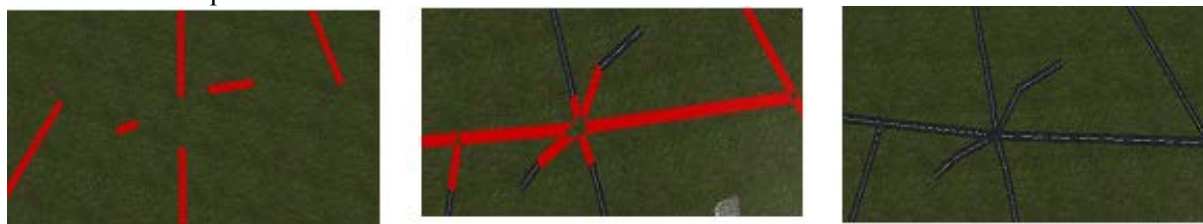


Рисунок 4. Этапы формирования пересечения дорог (слева направо).

Участки дороги вдали от перекрестков будут отнесены к классу подстилающих линейных объектов с учетом рельефа без пересечений, перекресток будет отнесен к площадным плоским объектам. Участки дороги вблизи перекрестка перейдет в следующий по иерархии класс в ветке линейных объектов с учетом рельефа и наличием пересечений. Такое разделение обусловлено тем, что по своему происхождению модель перекрестка представляет собой набор линейных объектов вокруг точки перекрестка, для построения которых необходима информация о каждом из них всей группе. Для построения участка дороги вблизи перекрестка необходима информация о соседних около перекрестка линейных участках дороги, которые будут являться другим объектом с точки зрения базы данных. Поэтому для оптимизации получения всей необходимой информации эти участки дороги будут отсортированы по часовой стрелке.

После формирования всех необходимых геометрий дорог все три класса объединяются в один и будут представлять собой модель дорожной сети. На рисунке 4 представлены все 3 этапа процесса формирования перекрестка дорог.

### 5. Формирование модели здания

Здание представляет собой комбинацию из двух объектов: стены и крыша. Плоская крыша здания является площадным объектом без высоты. Стены здания остаются в классе вытянутых площадных объектов. Здесь происходит формирование одного этажа здания и передача информации о контуре крыши в класс плоских площадных объектов без учета рельефа. Далее в классе “Стены здания” происходит полное формирование стен здания из всех этажей, каждый из которых получен на основе алгоритма предыдущей ступени. Этот класс будет являться финальным классом для стен, так как эта модель имеет специфический алгоритм расчета геометрии и текстурных координат. Обусловлено это тем, что для придания зданию более реалистичного вида, было решено сформировать набор стандартных текстур, по следующим параметрам здания: этажность, разделение зданий на жилые и офисные, материал, из которого построены здания. Текстура представляет собой компоновку из нижнего, среднего и верхнего этажей здания. Данная текстура будет накладываться по следующему принципу: стены здания формируются поэтажно и соответственно для каждого этажа будет присвоена отдельная часть данной текстуры, а именно для первого этажа нижняя часть, для последнего – верхняя и для других этажей – средняя. Чтобы избежать искажения текстуры на узких и широких стенах, было принято следующее решение – делить стену не только на этажи, но и на подъезды, оконные проемы, там, где стена для подъезда слишком мала и просто на кусочки стены, которые малы даже для окна. Геометрия рассчитывается под каждый участок стены, описанный выше.

На рисунке 5 можно увидеть пример стандартной текстуры, а на рисунке 6 разбиение данной текстуры на описанные выше участки одного этажа.



**Рисунок 5.** Стандартная текстура для стены здания, разделение текстуры на участки: подъезд, окно и стена и полученная 3D модель.

## 6. Выводы

Предложенная структура позволяет обеспечить гибкость и расширяемость процесса генерации модели городской среды. При добавлении в классификатор нового типа объектов нет необходимости в создании алгоритма формирования модели этого типа. Достаточно лишь указать в его описании набор характеристик, по которым программа определит, к какому графическому классу объектов он относится и по указанным в цифровой карте частным характеристикам объекта строит нужную графическую модель. На рисунке 6 представлен фрагмент электронной карты и полученная на его основе 3D модель.



**Рисунок 6.** Фрагмент электронной карты и 3D модель, построенная на основе атрибутивной информации цифровой карты.

## 7. Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-11-00068).

## 8. Литература

- [1] Vasin, Yu.G. Development of Interactive Virtual Models of the Urban Landscape of the Historical Center of Nizhni Novgorod / Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, T.N. Tomchinskaya // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2011. – Vol. 21(2). – P. 351-353.
- [2] Kim, D. Using 3D GIS simulation for urban design / D. Kim, I. Bejleri // ESRI Users conference, 2005. – P. 1-14.
- [3] Bourdakis, V. Low Tech Approach to 3D Urban Modeling / V. Bourdakis // Architecture in Computro [26th eCAADe Conference Proceedings], Antwerpen, Belgium, 2008. – P. 959-964.
- [4] Zhou, G. Modelling and visualizing 3D urban environment via internet for urban planning and monitoring / G. Zhou, Z. Tan, P. Cheng, W. Chen. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxv/congress/comm2/papers/151.pdf>.
- [5] Основные стратегии создания 3D моделей городов. GisLab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/3dcities.html>.
- [6] ArcReview: Трехмерное моделирование и фотореалистичная визуализация городских территорий. Dataplus. Геоинформационные системы для бизнеса и общества [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=2244>.
- [7] С3 – предвестник 3D-революции в компьютерной картографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/td/c3-technologies-3d-maps.shtml>.
- [8] Шоломицкий, А.А. Технология трехмерного моделирования городов / А.А. Шоломицкий, А.А. Лунев, О.М. Тарасова // Научный вестник НГУ. – 2011. – № 2. – С. 57-62.
- [9] Carrozzino, M. Urban procedural modeling for real-time rendering / M. Carrozzino, F. Tecchia, M. Bergamasco [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/carrozzino\\_etal\\_2.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/5-W1/pdf/carrozzino_etal_2.pdf).

- [10] Rautenbach, V. Evaluating procedural modeling for 3D models of informal settlements in urban design activities / V. Rautenbach, Y. Bevis, S. Coetzee, C. Combrinck // South African Journal of Science (SAJS). – 2015. – Vol. 111(11/12). – P. 11-10.
- [11] Осипов, М.П. Алгоритм построения триангуляции Делоне для конечного набора точек / М.П. Осипов // Сборник трудов Аспирантов и магистрантов. Технические науки. – Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2003. – С. 139-142.
- [12] Vasin, Yu.G. Procedural Modeling and Interactive 3D Visualization of Objects of the Internal Structure of Buildings and Facilities / Yu.G. Vasin, M.P. Osipov, S.V. Muntyan, E.A. Kustov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25(2). – P. 278-280.



# Automation of 3D modeling of urban environment according to attributive information from a digital map

M.P. Osipov<sup>1</sup>, O.A. Chekodaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nizhni Novgorod State University, National Research University, Gagarina 23, Nizhni Novgorod, Russia, 603950

**Annotation.** The paper describes a method for generating a 3D models of urban environment objects on attributive information from an digital map. The algorithms for automating the process of modeling objects of the urban environment are proposed. A flexible and expanding structure is proposed that allows generating both types of objects already available in the classifier, as well as new ones added by the user.

**Keywords:** procedural modeling, digital maps, 3D visualization, visualization optimization.