

УДК 004.94

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО АТТРИБУТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВОГО ПОЭТАЖНОГО ПЛАНА

Осипов М.П., Чекодаев О.А.

*Нижегородский государственный университет, Национальный исследовательский университет,
Нижний Новгород, e-mail: osipovmp@mail.ru, ch.oleg@hotmail.com*

В работе предложен метод процедурной генерации трехмерных моделей объектов внутренней структуры зданий и сооружений по атрибутивной информации цифрового поэтажного плана. Автоматизация процесса 3D моделирования основана на использовании алгоритмов процедурного моделирования с применением сформированной библиотеки 3D моделей и текстур. Преимуществами автоматического формирования 3D модели поэтажного плана являются отсутствие ручного труда и возможность в реальном времени производить редактирование информации, описывающей объект. Для хранения информации об объектах поэтажного плана выбрана система управления базами данных иерархического типа. Этот выбор дает возможность создавать иерархию наследуемых классов объектов поэтажного плана напрямую и таким образом оптимизировать процесс генерации их 3D модели. Автоматически генерирующиеся объекты поэтажного плана 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. Для отрисовки добавленного в классификатор объекта достаточно указать, к какому классу этот объект принадлежит. Такой подход обеспечивает расширяемость алгоритма генерации модели поэтажного плана. При добавлении в классификатор нового типа объектов нет необходимости в создании алгоритма формирования модели этого типа. Достаточно лишь указать в его описании набор характеристик, позволяющих алгоритму определить, какие методы построения из существующей иерархии классов будут использованы.

Ключевые слова: процедурное моделирование, 3D визуализация, СУБД иерархического типа, база знаний цифровых поэтажных планов

AUTOMATION OF THE PROCESS OF 3D MODELING OF OBJECTS OF THE INTERNAL STRUCTURE OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING ATTRIBUTIVE INFORMATION FROM THE DIGITAL FLOOR PLAN

Osipov M.P., Chekodaev O.A.

*Nizhny Novgorod State University, National Research University, Nizhny Novgorod,
e-mail: osipovmp@mail.ru, ch.oleg@hotmail.com*

A method of procedural generation of three-dimensional models of objects of the internal structure of buildings and structures based on the attributive information of the digital floor plan is proposed. Automation of the 3D modeling process is based on the use of procedural modeling algorithms using the generated 3D models and textures library. Advantages of automatic formation of a 3D model of a floor plan are the absence of manual labor and the ability in real time to edit the information describing the object. To store information about the objects of the floor plan, a database management system of a hierarchical type was chosen. This choice makes it possible to create a hierarchy of inherited classes of floor plan objects directly and thus optimize the process of generating their 3D model. Automatically generated objects of the floor plan are divided into classes according to the methods of constructing their geometry. Classes are a hierarchical structure; each next step of the hierarchy is a modification of a more general geometric construction of the model in the previous stage. To build a 3D model for an object added to the classifier, it is sufficient to indicate to which class this object belongs. This approach ensures the extensibility of the algorithm for generating a floor plan model. When adding a new type of objects to the classifier, there is no need to create an algorithm for forming a model of this type. It is enough to specify in its description a set of characteristics that allow the program to determine which building algorithms from the existing class hierarchy will be used.

Keywords: procedural modeling, 3D visualization, hierarchical type DBMS, knowledge base of digital floor plans

3D визуализация объектов внутренней структуры зданий и сооружений востребована в различных сферах жизни. Она может быть использована для презентации здания перед его постройкой или при моделировании внутреннего интерьера здания, при кадастровом учете недвижимости, для задач навигации внутри помещения [1] и т.д.

Обычно 3D модели внутреннего интерьера помещений создаются вручную с помощью различных инструментальных

систем трехмерного моделирования [2]. Однако очевидно, что такой подход является достаточно трудоемким, поскольку моделирование происходит полностью посредством оператора. Автоматизация процесса 3D моделирования позволит максимально сократить долю ручного труда. Важное значение в процессе автоматизации играет исходная информация об объекте – чем она подробнее, тем более реалистичную модель данного объекта можно воссоздать. Доста-

точно подробную информацию можно получить на основе лазерного сканирования здания, результатом которого является облако точек [3, 4]. Совмещая эту информацию с визуальной (фотографиями внутреннего интерьера) [5] или информацией полученной с RFID сканеров [6], можно получить достаточно точную 3D модель внутреннего интерьера здания. Однако оборудование для получения такой информации достаточно дорогостоящее, что представляет определенный минус.

Цель исследования: формирование 3D моделей объектов внутренней структуры зданий и сооружений может осуществляться в автоматическом режиме при помощи правил пространственного моделирования по информации из базы данных цифрового поэтажного плана [7, 8]. Такой подход имеет название – процедурное моделирование [9].

Цифровой поэтажный план содержит в себе информацию о местоположении объекта, его габаритах, цвете и материале, в нем хранится информация о межобъектных отношениях и другие сведения, позволяющие получить информацию для его трехмерного представления.

Для хранения информации об объектах поэтажного плана используется система управления базами данных иерархического типа [10]. Этот выбор дает возможность создавать иерархию наследуемых классов объектов поэтажного плана напрямую и таким образом оптимизировать процесс генерации их 3D модели.

Преимуществами автоматического формирования 3D модели поэтажного плана являются отсутствие ручного труда и возможность в реальном времени производить редактирование информации, описывающей объект.

Автоматизация процесса 3D моделирования основана на использовании алгоритмов процедурного моделирования с применением сформированной библиотеки 3D моделей и текстур.

Задача данной работы состоит в разработке алгоритмов автоматизации процесса моделирования объектов внутренней структуры зданий и сооружений по атрибутивной информации цифрового поэтажного плана.

Объектами поэтажного плана выступают стены, пол, потолок этажа, различные предметы интерьера, такие как лампы, двери, окна, шкафы 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 осуществля-

ется автоматически на основе атрибутивного описания объекта из базы данных цифрового поэтажного плана.

По типу представления объекты можно подразделить на две группы: дискретные и содержащие метрическую информацию.

Дискретные объекты – это типовые для поэтажного плана объекты, не имеющие метрического описания. Такими объектами являются лампы, стулья, различные приборы и др. Каждый такой тип объекта может иметь различное описание, представленное списком характеристик. Это может быть тип материала, возраст, габариты и т.п. Список возможных характеристик данного типа объекта в базе знаний цифрового поэтажного плана известен, и для конкретного объекта меняется только их набор. Поэтому 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 в поэтажном плане. В таком случае, дискретные объекты не генерируются, а представляются готовыми 3D моделями, которые загружаются в программу из библиотеки типовых 3D моделей. Дискретные объекты, которые имеют характеристики, позволяющие автоматически сгенерировать их 3D модель, выделяются в отдельные классы генерации.

Объекты, имеющие метрические характеристики, будут генерироваться автоматически. К таким объектам относятся стены, пол, потолок, лестница, окна и т.п. Такой тип объекта имеет описание в виде представления его контура и списка характеристик, хранящихся в цифровом поэтажном плане. На рис. 1 представлена блок-схема распределения объектов поэтажного плана по начальным классам их представления. Разбиение по классам основывается на различных характеристиках объектов, которые позволяют выделить общие алгоритмы построения геометрии и текстурирования модели.

Объекты, содержащие метрическую информацию, подразделяются на площадные, линейные и комбинированные. Метрическое описание площадного объекта представляет собой последовательность координат точек его границ. 3D модель площадного объекта формируется путем триангуляции внутри заданного контура. В качестве такого объекта может выступать, например, пол или потолок. Объект может иметь прерывания вследствие его пересечения с другим объектом. 3D модель площадного объекта с прерываниями формируется путем вырезания из триангуляционного разбиения областей прерывания.

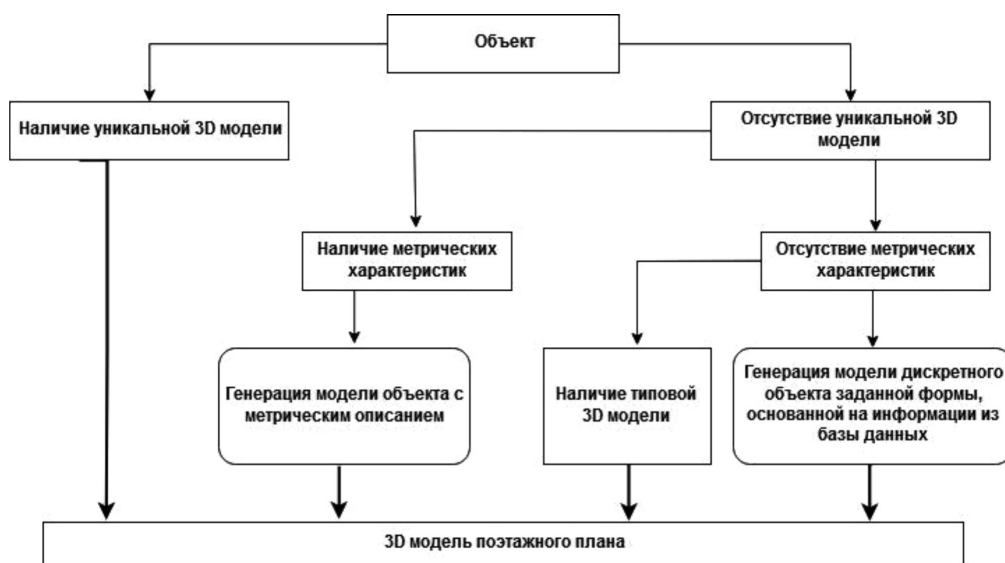


Рис. 1. Схема распределения объектов по начальным классам

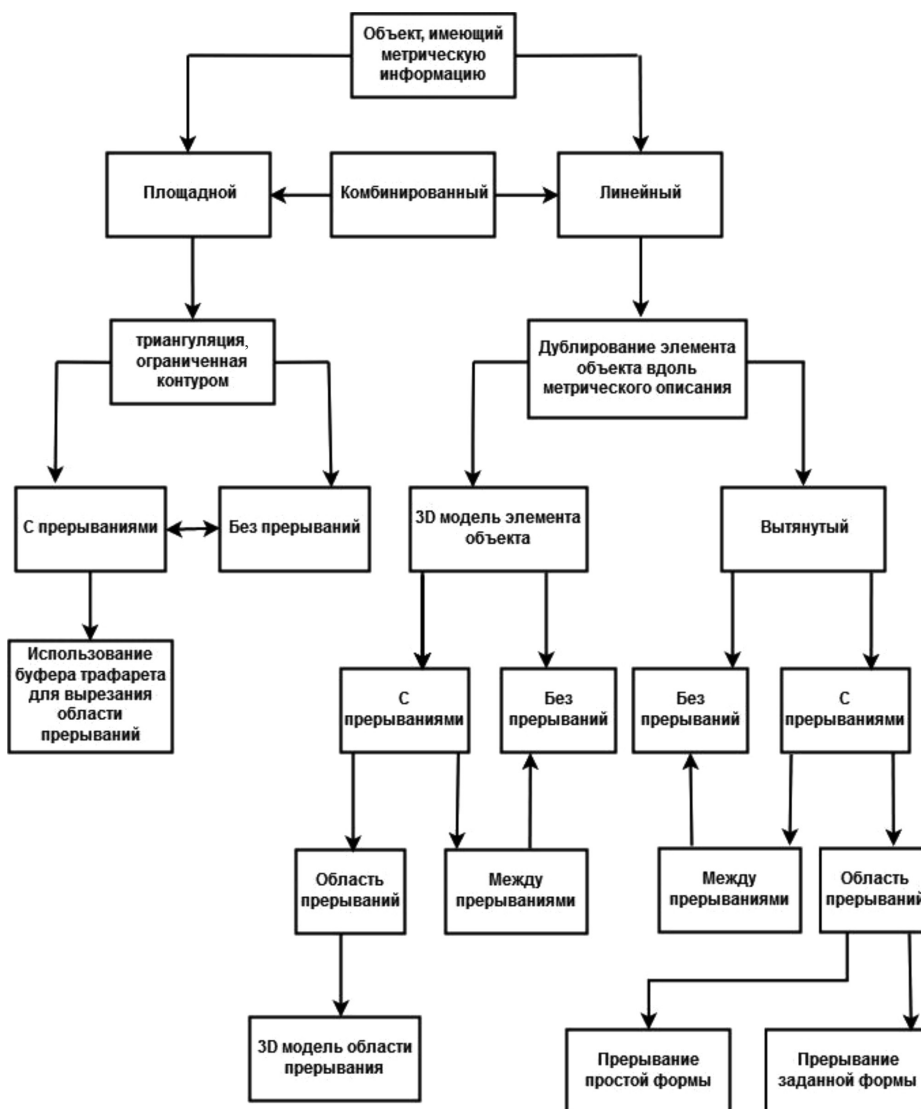


Рис. 2. Способы представления 3D моделей объектов внутренней структуры зданий

Линейные объекты характеризуются некоторой протяженностью. Метрическое описание линейного объекта представляет собой последовательность координат точек осевой линии объекта. 3D модель линейного объекта формируется путем дублирования «элемента объекта» вдоль метрического описания. В качестве «элемента объекта» может выступать готовая 3D модель из базы данных 3D моделей объектов либо сконструированная автоматически 3D модель путем вытягивания текущего отрезка осевой линии на заданную высоту. Примером таких объектов могут выступать трубы (электрические кабели) и стены соответственно.

Линейные объекты могут иметь прерывание другим объектом. В этом случае процесс построения 3D модели разбивается на две части: линейный объект между прерываниями, процесс формирования геометрии которого описывался выше, и непосредственно область прерывания. Область прерывания может быть заданной формы либо простой формы. В первом случае 3D модель области прерывания формируется как площадной объект. Примером такого типа объекта служит арка в стене. Во втором случае форма области прерывания формируется автоматически, как набор линейных объектов. В качестве таких объектов могут выступать, например, стандартные оконные и дверные проемы.

Комбинированные объекты представляют собой составной объект, включающий в себя элементы, относящиеся как

к линейным, так и к площадным объектам. В качестве таких объектов может выступать, например, лестница.

Таким образом, все автоматически генерируемые объекты поэтажного плана 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. Для отрисовки добавленного в классификатор объекта достаточно указать, к какому классу этот объект принадлежит.

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. Общую схему работы данного принципа можно увидеть на рис. 3.

Заключение

В работе приведены алгоритмы обеспечивающие автоматизацию процесса моделирования объектов внутренней структуры зданий и сооружений по информации, содержащейся в базе данных цифрового поэтажного плана.

Алгоритмы моделирования разных типов объектов объединены в общую иерархическую структуру, позволяющую оптимизировать процесс генерации новых типов объектов.

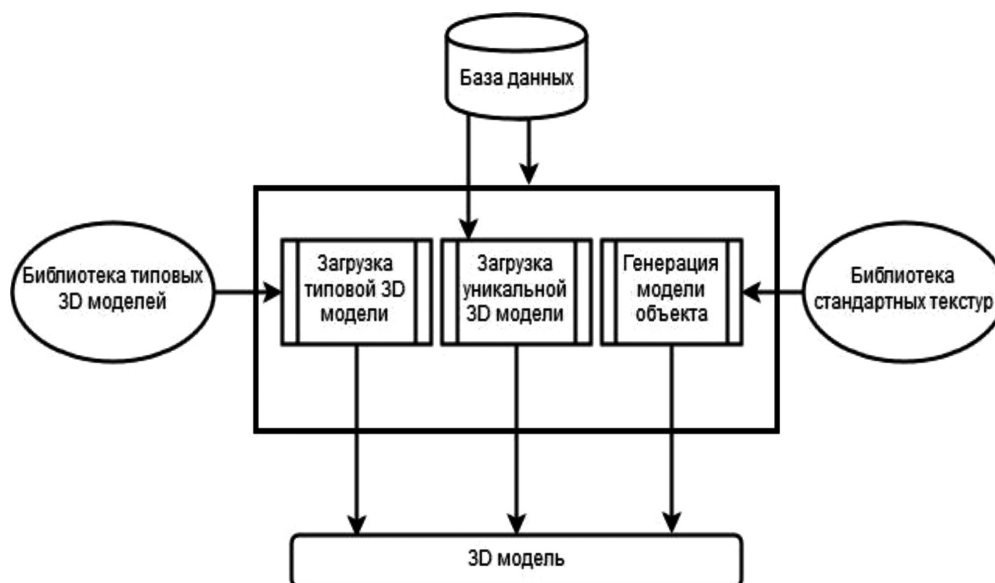


Рис. 3. Общая схема работы алгоритма автоматической генерации 3D модели поэтажного плана

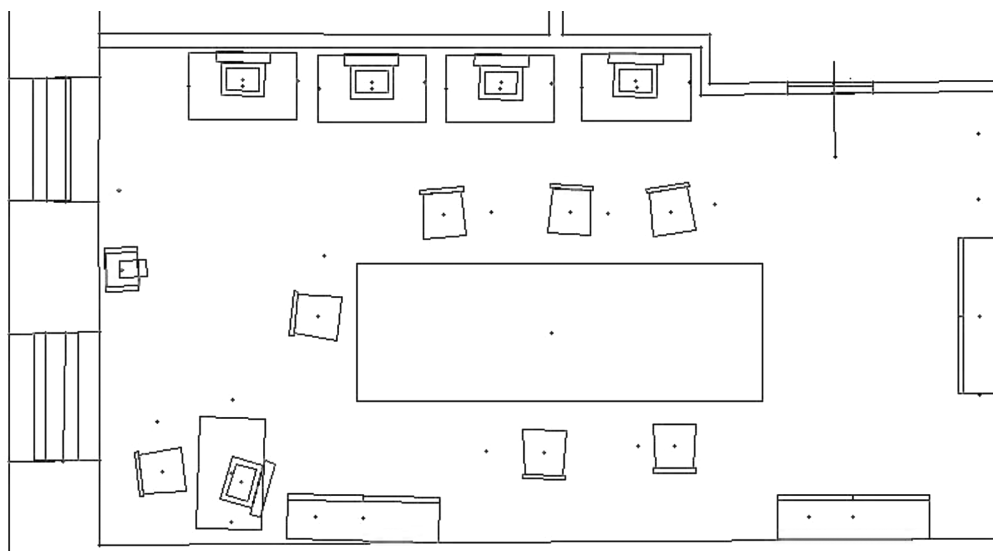


Рис. 4. Векторное изображение цифрового поэтажного плана и 3D модель, сгенерированная на его основе

На рис. 4 изображен фрагмент 3D модели внутренней структуры здания, построенной на основе информации поэтажного плана.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-01214 А).

Список литературы

1. Vasin Yu.G., Osipov M.P., Egorov A.A., Yasakov Yu.V. Autonomous Indoor 3D Navigation. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2015. Vol. 25. No. 3. P. 373–377.
2. Vasin Yu.G., Osipov M.P., Tomchinskaya T.N. Development of Interactive Virtual Models of the Urban Landscape of the Historical Center of Nizhni Novgorod. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2011. Vol. 21. No. 2. P. 351–353.
3. Helene Macher, Tania Landes, Pierre Grussenmeyer. From Point Clouds to Building Information Models. *3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings*, *Applied Science* 2017. Vol. 7. 1030. P. 30.
4. Ruisheng Wang, Lei Xie, Dong Chen. Modeling Indoor Spaces Using Decomposition and Reconstruction of Structural Elements. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2017. Vol. 83. P. 827–841.
5. Lucia Diaz-Vilarino, Kouros Khoshelham, Joaquin Martinez-Sanchez, Pedro Arias. 3D Modeling of Building Indoor Spaces and Closed Doors from Imagery and Point Clouds. *Sensors* 2015. Vol. 15. P. 3491–3512.
6. Enrique Valero, Antonio Adan and Carlos Cerrada. Automatic Construction of 3D Basic-Semantic Models of Inhabited Interiors Using Laser Scanners and RFID Sensors. *Sensors* 2012. Vol. 12. P. 5705–5724.
7. Diana S.S. Santos, Marcio Dionisio, Nuno Rodrigues, Antonio Pereira. Efficient Creation of 3D Models from Buildings' Floor Plans. *International Journal of Interactive Worlds*. 2011. Vol. 2011. Article ID 897069. P. 30.
8. Lucile Gimenez, Sylvain Robert, Frederic Suard, Khalidou Zreik. Automatic reconstruction of 3D building models from scanned 2D floor plans. *Automation in Construction*. 2016. Vol. 63. P. 48–56.
9. Vasin Yu.G., Osipov M.P., Muntyan S.V., Kustov E.A. Procedural Modeling and Interactive 3D Visualization of Objects of the Internal Structure of Buildings and Facilities. *Pattern Recognition and Image Analysis*. 2015. Vol. 25. No. 2. P. 278–280.
10. Vasin Yu.G., Yasakov Yu.V. GIS Terra: A graphic database management system. *Pattern recognition and image analysis*. 2004. Vol. 14. No. 4. P. 579–586.