

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2022, №2 Том 9 / 2022, No 2, Vol 9 <https://resources.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/12NZOR222.pdf>

DOI: 10.15862/12NZOR222 (<https://doi.org/10.15862/12NZOR222>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Чухраев, И. В. Модели данных объектов наземного и подземного строительства многоуровневой геоинформационной системы города / И. В. Чухраев, О. О. Козеева // Отходы и ресурсы. — 2022. — Т. 9. — № 2. — URL: <https://mir-nauki.com/PDF/12NZOR222.pdf> DOI: 10.15862/12NZOR222

For citation:

Chukhraev I.V., Kozeeva O.O. Multilevel urban geographic information system models for overground and underground design. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 9(2): 12NZOR222. Available at: <https://mir-nauki.com/PDF/12NZOR222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/12NZOR222

Чухраев Игорь Владимирович

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
Филиал в г. Калуга, Калуга, Россия
Доцент, заведующий кафедрой ИУК2 «Информационные системы и сети»
Кандидат технических наук
E-mail: chukhraev@bmstu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9293-4825>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42023

Козеева Ольга Олеговна

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
Филиал в г. Калуга, Калуга, Россия
Ассистент, аспирант кафедры ИУК2 «Информационные системы и сети»
E-mail: blueelectricat@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-2614>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=927509

Модели данных объектов наземного и подземного строительства многоуровневой геоинформационной системы города

Аннотация. Геоинформационная система города представляет собой совокупность данных урбанистической, индустриальной, экологической сред, полученных с различных источников: от датчиков, транслирующих сигналы с локальных узлов до информационных систем, которые предоставляют сведения по определенной предметной области, необходимые для реализации целевых функций — с привязкой к пространственному положению объектов, входящих в их состав. Данная статья является частью диссертационного исследования, в котором разрабатывается подход к проектированию городского пространства на основе геоинформационных технологий. В качестве предмета в данной работе рассматривается применение трехмерной визуализации в геоинформационной системе города: приведено исследование моделей данных и методов обработки комплексной информации, на основе которого сформирована расширенная модель, включающая уровень подземных инженерных коммуникаций, а также подход к распознаванию трехмерных образов с целью повышения эффективности хранения, анализа и отображения пространственно-координированных данных при решении актуальных инженерно-строительных задач. Модели данных в

геоинформационной системе города рассматриваются с точки зрения их структурной организации и визуального представления для выявления специфических характеристик и узких мест при внедрении новых подходов, реализующих интеллектуальный анализ информации с целью повышения эффективности ее обработки. Отличительной характеристикой представленной в данной работе модели является формирование единого пространства, агрегирующего разнородные данные, в том числе информацию об инфраструктуре подземных инженерных коммуникаций, что обеспечивает возможности реализации программных решений прикладных задач автоматизации процессов инженерно-строительного проектирования урбанистической и индустриальной сред. Кроме того, модель включает в себя множество слоев, отображающих различные типы объектов, инфраструктур, а также зоны микрорайонирования по различным признакам. Модель является расширяемой и масштабируемой, обеспечивая возможность подгрузки новых данных из внешних источников в целях актуализации информации или расширения функциональных возможностей системы, например, введением дополнительных слоев, описывающих водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, что обуславливает возможность эксплуатации системы применительно к различным предметным областям.

Ключевые слова: геоинформационная система города; подземные инженерные коммуникации; трехмерная визуализация; подземное строительство; геоинформационное моделирование; компьютерные геоизображения; геоинформационные инфраструктуры; анализ данных

Введение

Город представляет собой сложную систему взаимосвязанных массивов объектов различного назначения, технологической основы и правил функционирования, служащих в качестве материально-технического обеспечения социальных нужд населения. При выполнении инженерно-строительных работ по планированию и проектированию городского пространства необходимо учитывать комплексные взаимосвязи урбанистической, индустриальной и экологических сред и руководствоваться современными методами и моделями оценки экологических рисков [1; 2] с целью формирования безопасной среды и предотвращения инцидентов, вызванных небезопасной промышленной деятельностью. Цифровые технологии оказывают значительное влияние на формирование современного облика городов, задавая направление для развития во многих областях деятельности, являясь как неотъемлемой их частью с точки зрения реализации, так и средством их совершенствования и оптимизации с учетом различных факторов динамически меняющейся среды и условий для достижения социально значимых целей. Так, в настоящее время сформирована и активно развивается научная база исследования методов проектирования «цифровых двойников» с использованием трехмерных моделей, способствующих повышению эффективности функционирования и организации, в частности, транспортных потоков [3; 4].

Данная статья является частью диссертационного исследования, в котором разрабатывается подход к проектированию городского пространства с использованием современных средств трехмерной визуализации для формирования комплексной модели данных городского пространства и применением методов интеллектуального анализа с целью повышения эффективности обработки разнородной информации при решении актуальных задач планирования инфраструктуры как надземных, так и подземных сооружений. Целью реализации данной геоинформационной системы является оптимизация затрат и ресурсов при проведении инженерно-строительных изысканий при соблюдении условий безопасности и выявления ограничительных факторов при строительстве новых объектов, выбора стратегии развертывания инженерных коммуникаций, а в перспективе — обустройства автомобильных

дорог и организации дорожного движения, озеленения территорий, экологического мониторинга.

Актуальное значение в формировании трехмерных моделей имеют такие методы, как фотограмметрия и лазерное сканирование, значительно улучшающие точность отображения геопространственной информации. Трехмерная визуализация в ГИС города сочетает в себе возможности трехмерного (3D) моделирования в системах автоматизированного проектирования (САПР) и технологии информационного моделирования зданий (BIM) для решения широкого ряда инженерно-строительных задач. Реализация трехмерной модели сложных и неравномерно распределенных объектов наземных, а также подземных пространств является актуальной задачей, и в данной работе представлена ГИС, основанная на многоуровневой трехмерной модели городского пространства, включающей представление инфраструктуры подземных инженерных коммуникаций. В данной статье продемонстрировано применение трехмерной визуализации в ГИС города с учетом его многоуровневой организации. Отличительной характеристикой данной ГИС является формирование единого пространства, агрегирующего разнородные данные, в том числе информацию об инфраструктуре подземных инженерных коммуникаций, что обеспечивает возможности реализации программных решений прикладных задач автоматизации процессов инженерно-строительного проектирования урбанистической и индустриальной сред.

Методы

Наиболее заметной разработкой в области моделирования городского пространства является проект The City Geography Markup Language (CityGML), развивающийся с 2002 года и представляющий модель данных для описания трехмерных моделей городов, а также язык разметки, подобный расширяемому языку разметки (XML) [5; 6]. Единый, унифицированный для международного использования формат хранения данных предусматривает возможность обмена между различными системами. В модели данных CityGML каждый объект имеет собственное описание трехмерной геометрии, а также текстуры, задающие качественные характеристики его поверхности. Выделяется несколько классов объектов городского пространства:

- общий ландшафт;
- здания, мосты и туннели;
- растительность;
- водоемы;
- транспортные карты;
- участки определенного землепользования;
- малые архитектурные формы;
- типовые городские объекты.

Также есть возможность формировать собственные классы. Каждому классу соответствует определенный набор атрибутов, описывающих характерную геометрию. Например, если выделить в модели здания крышу и стены, то им будет соответствовать атрибут Composite Surface (поверхность), для окон и дверей — Polygon (полигон). Базовым классом всех объектов является `_CityObject`, который является подклассом класса `GML _Feature`. Все объекты наследуют свойства от `_CityObject`. В целом связи между элементами в иерархии CityGML имеют однонаправленный характер [5–7].

Для корректного расположения трехмерных объектов на цифровой модели местности используются кривые, задающие точное место их соприкосновения. Объекты могут быть не только визуально описаны текстурами, но и другими свойствами, такими как инфракрасное излучение или шумовое загрязнение, а также данными из внешних источников [8].

Прежде чем сформировать описание модели на основе CityGML, необходимо:

1. Выполнить первоначальную разметку объектов на ней.
2. Выполнить распознавание объектов на основе методов, наиболее подходящих для обработки исходного формата представления трехмерной модели.
3. Определить соответствие между выделенными классами и классами стандарта CityGML.

Например, если задана некоторая трехмерная модель, описывающая здание и ограниченный ландшафт окрестности, то в таком случае по правилам CityGML им будут присвоены теги Building и LandUse соответственно, а заранее обозначенные координаты областей их расположения на модели также будут включены в описание в формате .gml [5].

Для формирования моделей городских пространств на основе CityGML существует ряд программных средств как значительно упрощающих обработку разнородных данных, которую требуется выполнять на различных этапах данного процесса, например, «FME» от компании «Safe Software», так и предоставляющие алгоритмическое обеспечение для выполнения классификации в трехмерных моделях, например, «Terrasolid». Например, в функции «FME» входит конвертация данных .shape файлов в формат .gml. Так вся необходимая информация может быть унифицирована для возможности дальнейшей передачи и обработки в различных системах, использующих данную модель представления географических данных.

В CityGML могут использоваться данные, полученные с помощью лазерного сканирования LIDAR, обработанные по координатам относительно поверхности для первоначальной классификации средствами «Terrascan», в ходе которой выделяются следующие классы: земля, растительность, низкие точки, крыши зданий и остальное, обозначающее все точки, не соответствующие заданным условиям. LIDAR датчики также предоставляют информацию о высотах, что используется для построения объемной трехмерной модели по полученной двумерной карте местности. В общем виде это представляет собой выстраивание объектов над поверхностью на определенную высоту, при этом непосредственно геометрия конкретного объекта задается в соответствии с нотацией CityGML, содержащей также набор примитивов для типовых объектов. Полученная трехмерная модель может быть внедрена в ГИС, которая в перспективе может служить для проектирования различных систем наподобие «умный город».

Особую значимость имеет концепция, заложенная в CityGML, в которой модель города подразделяется на несколько уровней абстракции с предусмотренной декомпозицией представления и детализации взаимосвязанных сущностей. Это позволяет учитывать требования к информационной модели, специфические для конкретной предметной области. При этом для каждого уровня абстракции могут быть описаны различные виды документов, с помощью которых производится проектирование, разработка и сопровождение моделей.

Трехмерные модели данных представляются в форме массива неупорядоченных точек с их пространственными координатами — облака точек, полученного фотограмметрическими методами. Из неупорядоченности следует отсутствие информации о взаимосвязях между точками, а, значит, и о геометрических характеристиках объектов, что ведет к проблемам анализа модели в целом. Модель города подразумевает четкую классификацию объектов разного уровня, что необходимо для реализации функций ее исследования, поэтому

необходимо осуществить переход к однозначному описанию геометрии, то есть к функциональному представлению.

Для выполнения семантической сегментации могут использоваться определенные вычислительные алгоритмы, например, алгоритм RANSAC [9; 10], который применяется для выделения различных геометрических примитивов. Его суть заключается в выборке необходимых для построения примитива точек, формирующих модель, которая затем проходит верификацию: какое количество точек соответствует параметрам искомого геометрического примитива с помощью функции оценки с заданным порогом. Рассмотрим работу RANSAC на примере поиска сферы и плоскости в трехмерной модели. Для того чтобы выделить объект, необходимо определить количество итераций работы алгоритма и пороговое значение. Проведем тест, в котором будут варьироваться данные параметры и при этом анализируется функция оценки для каждого отдельно взятого порогового значения, то есть чем более полученные в результате вычислений результаты близки к искомому, тем меньше шаг следующего задаваемого порогового значения. В результате были вычислены параметры (центр сферы и радиус), удовлетворяющие заданной модели (рис. 1).

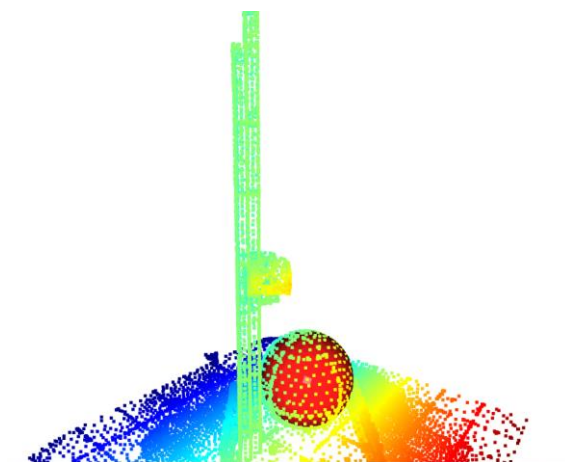


Рисунок 1. Искомая сфера с параметрами: радиус = 6.0200392209539, центр = [54.1033422876929, -28.4774545403868, 12.354184538675423] (составлено авторами)

Рассмотрим также поиск плоскости с помощью данного алгоритма на модели, представленной на рисунке 2. В результате подбора параметров удалось выделить и удалить большую часть опорной плоскости.

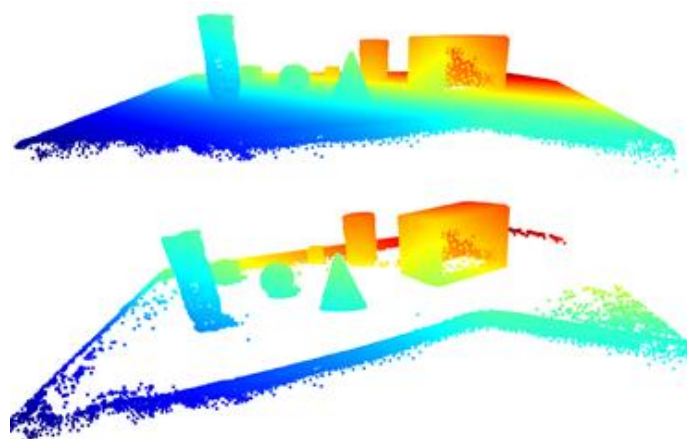


Рисунок 2. Удаление опорной плоскости на основе алгоритма RANSAC (составлено авторами)

Таким образом, стандартный алгоритм RANSAC требует подбора параметров для поиска определенного геометрического примитива, а также не может быть применен для поиска нескольких однотипных объектов на одной трехмерной модели [9; 10].

Рассмотрим работу другого алгоритма — DBSCAN [11], выполняющего плотностную кластеризацию. Как показано на рисунке 3, применение данного алгоритма демонстрирует более высокие результаты в нахождении разнородных геометрических примитивов на модели.

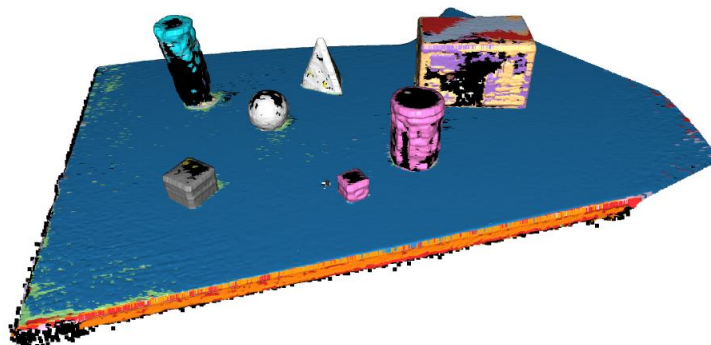


Рисунок 3. Семантическая сегментация на основе алгоритма DBSCAN (составлено авторами)

Тем не менее функциональности описанных алгоритмов недостаточно для решения более комплексных задач классификации объектов и их дальнейшей обработки и преобразования.

Результаты и обсуждение

В данной статье предлагается расширение модели данных города включением дополнительного уровня объектов с целью его более детального отображения и более широкого охвата взаимосвязей различных объектов.

На рисунке 4 продемонстрирован фрагмент трехмерной модели города, предоставленной компанией «КРОСС, Лтд», которая специализируется на обеспечении полного комплекса услуг по проектированию и строительству инженерных сетей.



Рисунок 4. Многоуровневая трехмерная модель городского пространства (составлено авторами)

Особенностью модели является наличие модуля для выполнения первичных инженерно-строительных работ на основе имитационного моделирования, который позволяет учитывать как геопространственное положение исследуемых объектов, так и взаимосвязи между ними, в том числе при сопряжении надземного и подземного уровней. В результате работа системы организовывается таким образом, что проектируемые архитектурно-строительные решения формируются на основе многокритериального анализа, позволяя оптимизировать затраты при планировании урбанистической и индустриальной сред.

В отличие от описанного выше подхода CityGML предлагается ввести еще один уровень описания — подземные коммуникации. На рисунке 5 демонстрируется точное трехмерное отображение таких элементов подземной инфраструктуры, как дренажная и ливневая системы, канализационные сети и люки.

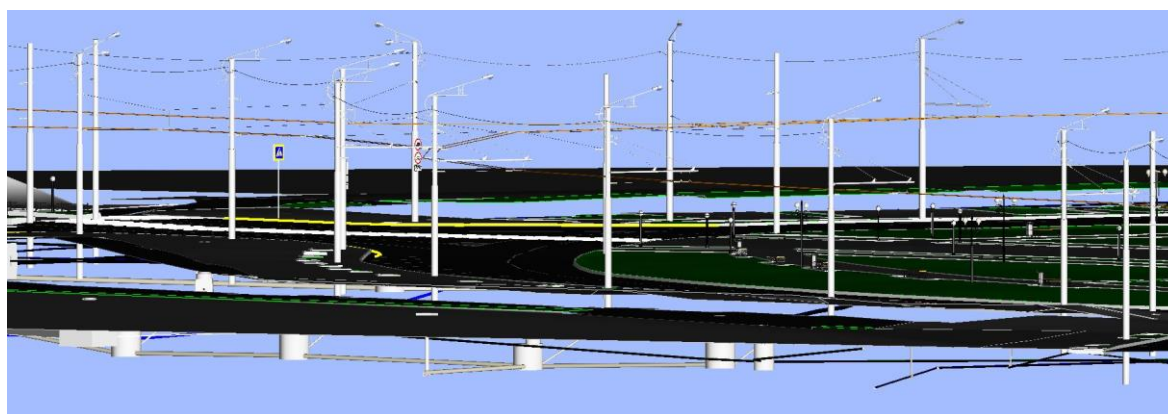


Рисунок 5. Сопряжение уровней подземных инженерных коммуникаций и надземной инфраструктуры (составлено авторами)

На основе данной модели выполняются изыскания по оптимизации обработки данных в ГИС. Одним из возможных решений существующих проблем обработки трехмерных данных является внедрение гибридного метода, включающего в себя применение расширения вейвлет-преобразований (curvelets) для выделения контуров в исходном облаке точек и определения геометрических примитивов, а также аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС) [12; 13] для последующей классификации объектов. От выделенных с помощью вейвлет-анализа контуров выполняется постепенное выстраивание структуры объекта с помощью метода k -ближайших соседей (рис. 6).

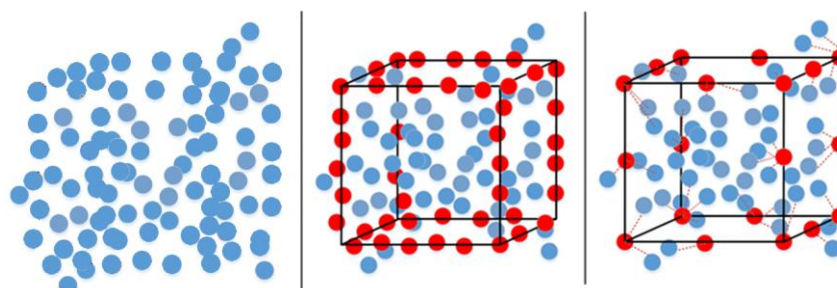


Рисунок 6. Обобщенное представление выстраивания геометрии объекта из неупорядоченного облака точек (составлено авторами)

Полученное таким образом глобальное описание объекта используется для его классификации, выполняемой ИНС. После отнесения объекта к тому или иному классу возможно осуществить поиск по заранее сформированной базе трехмерных твердотельных моделей и заменить его на наиболее подходящую. Подобный подход предлагается в ИНС классификации и семантической сегментации Pointnet++, одной из главных особенностей

которой является инвариантность к трансформации входных данных (поскольку облака точек являются неупорядоченным типом данных, решение этой проблемы является необходимым этапом для выполнения задач распознавания с помощью ИНС): многослойный перцептрон выполняет аппроксимацию входных данных, а симметричная функция субдискретизации извлекает информативные вершины облака точек. Нормализации входного облака точек выполняется с помощью ИНС TNet. В качестве выходных данных данной сети выдается матрица аффинных преобразований, умножаемая далее с исходным вектором входных точек. Проблема неупорядоченности точек решается с помощью использования симметрической функции [14–17].

Существует как ряд модификаций PointNet: DGCNN [18; 19], LDGCNN [20] — сверточные нейронные сети на графах, так и большое число независимых разработок в области распознавания трехмерных данных, представляющих различные подходы к решению этой задачи, например, сверточная ИНС Pointweb [21], на вход которой подаются двумерные изображения, полученные в результате рендеринга трехмерной модели.

В качестве подхода к повышению эффективности распознавания образов также может служить применение положений теории помехоустойчивого кодирования [22], когда инвариантность аффинных преобразований обеспечивается за счет разностных схем представления изображений в декартовой или в полярной системе координат. Инвариантность при искажениях или стираниях достигается за счет представления зрительных образов в виде помехоустойчивых кодов, задаваемых табличным путем. При декодировании корректируются ошибки и стирания символов образов, что обеспечивает высокую вероятность правильного распознавания образов и малую вероятность необнаруженной ошибки. Для упрощения декодирования сложные образы разлагаются на простые образы, число которых существенно меньше и для декодирования которых можно использовать переборные алгоритмы и нейронные сети. После декодирования простых образов конструируются сложные образы, которые являются распознаваемыми образами. Такой подход требует меньших вычислений и удобен для практических приложений.

Заключение

Город является сочетанием пространственных объектов, включающих в себя здания и сооружения различного функционального назначения, природные и искусственные массивы, инженерные сети и коммуникации. В процессе выполнения инженерно-строительных работ необходимо учитывать множество различных факторов: требования к обеспечению доступной среды жизнедеятельности для различных групп населения, влияние техногенных факторов на экологическую обстановку, что приводит к необходимости реализации решений планирования урбанистического и индустриального ландшафта, которые позволяют выполнять комплексный анализ исследуемых объектов и взаимосвязей между ними. В данной статье рассмотрен подход к формированию модели данных города, который имеет потенциал для решения множества актуальных проблем: задач градостроительства, управления комплексными системами регулирования транспортных потоков, оптимизации размещения энергоемких объектов, сетей видеонаблюдения, телекоммуникационных сетей, согласованного обновления инженерных коммунальных сетей, их своевременного ремонта для предупреждения выхода из строя, систем навигации, экологического мониторинга. Модель, содержащая данные о расположении улиц и объектов городской недвижимости, также может использоваться для систематизации учета типовых объектов. При многообразии форматов хранения и передачи разнородной информации о различных объектах и системах города задачи оптимизации их обработки и хранения требуют решения современными методами интеллектуального анализа данных и проектирования моделей, не уступающих по эффективности традиционным методам.

В данной статье описан вариант расширения модели данных города с помощью применения трехмерной визуализации для повышения эффективности проведения первичных инженерно-строительных изысканий при проектировании подземных и надземных пространств. Предложенная архитектура модели позволяет осуществлять анализ существующих многоуровневых планов городской инфраструктуры с учетом их взаимосвязей, а также планирование городского пространства, что содействует условиям его дальнейшего развития. На основе предложенной модели возможно осуществлять моделирование городских систем на разных уровнях с обеспечением их логической преемственности.

Данная модель также может быть использована для проектирования и планирования сети метрополитена, например, для оценки расположения линий метро с учетом размещения всех подземных и надземных сооружений, имеющих к нему сообщение. В целом можно отметить, что такая схема представления данных о городе и его объектах является одной из самых прогрессивных на сегодняшний день. На схеме города можно детально отобразить улицы города, транспортные сети, строения различного предназначения, растительность, инженерные коммуникации, объекты малых архитектурных форм, а также исследовать их взаимное влияние при планировании и проектировании городского ландшафта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко С.Н., Коростелев Д.Б. Системный анализ и прогноз показателей и индикаторов эффективности деятельности в сфере охраны окружающей среды и природопользования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2018. — № 9. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-104-110.
2. Гончаренко С.Н., Коростелев Д.Б. Методы и модели комплексной оценки системных связей показателей результативности природоохранной политики и принятия управленческих решений в сфере природопользования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2018. — № 11. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-70-76.
3. Temkin, I., Myaskov, A., Deryabin, S., Konov, I., Ivannikov, A. Design of a Digital 3D Model of Transport-Technological Environment of Open-Pit Mines Based on the Common Use of Telemetric and Geospatial Information // Sensors. — 2021. — Т. 21. — № 18. — С. 6277.
4. Темкин И.О., Клебанов Д.А., Дерябин С.А., Конов И.С. Построение интеллектуальной геоинформационной системы горного предприятия с использованием методов прогнозной аналитики // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 3. — С. 114–125. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125.
5. Kolbe T.H. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard, 2021.
6. Wilhelm L., Donaubauer A., Kolbe T. H. Integration of BIM and Environmental Planning: The CityGML EnvPlan ADE // Journal of Digital Landscape Architecture, 2021, № 6 — 2021. DOI: 10.14627/537705030.
7. Kolbe T.H., Donaubauer A. Semantic 3D City Modeling and BIM // Urban Informatics, Springer, Singapore, 2021, pp. 609–636.

8. Ohori K.A. Modeling cities and landscapes in 3D with CityGML // Building information modeling, Springer, Cham, 2018, pp. 199–215. DOI: 10.1007/978-3-319-92862-3_11.
9. Ghahremani M. Direct and accurate feature extraction from 3D point clouds of plants using RANSAC // Computers and Electronics in Agriculture, 2021, Vol. 187, p. 106240. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106240.
10. Li J., Hu Q., Ai M. Point cloud registration based on one-point RANSAC and scale-annealing biweight estimation // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2021. DOI: 10.1109/TGRS.2020.3045456.
11. Schubert E. DBSCAN revisited, revisited: why and how you should (still) use DBSCAN // ACM Transactions on Database Systems (TODS), 2017, Vol. 42, № 3, pp. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1145/3068335>.
12. Николенко С., Кадурин А., Архангельская Е. Глубокое обучение. — СПб.: Питер, 2018. — 480 с.
13. Ильичев В.Ю., Чухраев И.В. Обработка данных с использованием глубокого обучения генеративно-сопоставительной нейронной сети (GAN) // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. Т. 23. № 5. С. 51–56. DOI: 10.18127/j15604128-202104-05.
14. Qi C.R. Pointnet: Deep learning on point sets for 3D classification and segmentation // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2017, pp. 652–660.
15. Garcia-Garcia A. Pointnet: A 3D convolutional neural network for real-time object class recognition // 2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), IEEE, 2016, pp. 1578–1584. DOI: 10.1109/IJCNN.2016.7727386.
16. Ni P. Pointnet++ grasping: learning an end-to-end spatial grasp generation algorithm from sparse point clouds // 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), IEEE, 2020, pp. 3619–3625. DOI: 10.1109/ICRA40945.2020.9196740.
17. Lian Y., Feng T., Zhou J. A dense Pointnet++ architecture for 3D point cloud semantic segmentation // IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE, 2019, pp. 5061–5064. DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8898177.
18. Phan A. V. DGCNN: A convolutional neural network over large-scale labeled graphs // Neural Networks, 2018, Vol. 108, pp. 533–543. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.09.001>.
19. Wu B. DGCNN: Disordered graph convolutional neural network based on the Gaussian mixture model // Neurocomputing, 2018, Vol. 321, pp. 346–356. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.09.008>.
20. Xiaolong L. Linked Attention-Based Dynamic Graph Convolution Module for Point Cloud Classification. 2021 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), IEEE, 2021. DOI: 10.1109/ICIP42928.2021.9506650.
21. Zhao H., Jiang L., Fu C.-W., Jia J. Pointweb: Enhancing local neighborhood features for point cloud processing. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019, pp. 5565–5573.
22. Квашенников, В.В. Инвариантные преобразования и распознавание образов геоинформационных систем // Телекоммуникации. — 2022. — № 4. — С. 23–31. — DOI 10.31044/1684-2588-2022-0-4-23-31.

Chukhraev Igor Vladimirovich

Bauman Moscow State Technical University (National Research University)
Kaluga Branch, Kaluga, Russia
E-mail: chukhraev@bmstu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9293-4825>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=42023

Kozeeva Olga Olegovna

Bauman Moscow State Technical University (National Research University)
Kaluga Branch, Kaluga, Russia
E-mail: bluelectricat@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-2614>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=927509

Multilevel urban geographic information system models for overground and underground design

Abstract. The urban geographic information system includes a wide range of different types of complex data collected from various sources. Objects described vary from industrial to ecological as city itself being tied to environment also affects nature. Preventing pollution and other emergency situations caused by industrial and human activity in general is both topical and burning that is widely recognized so there is need for a comprehensive study of the possibilities to develop geographic information system in order to increase efficiency of city design. The purpose of the article is to develop urban geographic information system that provides a solution to the problem and also helps to reduce city planning costs as a system representing city on different levels and obtaining all the necessary information in one source. Urban geographic information system developed with the latest digital technologies allows to make city planning more flexible to technical, economical, social and other changes. Three-dimensional visualization is one of the up-to-date ways to expand geographic information system functionality and this paper gives information of the subject area: research on nowadays data models and data processing methods was conducted. And on this basis urban geographic information system extended data model including underground infrastructure level was offered and possible approaches to increase efficiency of data processing in it were formed. The three-dimensional model provides a solution for complex underground and overground design with digital technologies on a basis of geographic information system that includes multilevel data organization.

Keywords: urban geographic information system; underground utilities; three-dimensional visualization; underground design; geographic information modelling; digital geographic picturing; urban geographic data; data processing