

# ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАБОТЫ С ТЕРРИТОРИАЛЬНО ОПРЕДЕЛЁННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ

А.В. Скворцов, Ю.Б. Гриценко

В настоящее время в информатике сложились два основных направления, имеющих дело с графическим представлением территориально определённых данных. Это геоинформационные системы (ГИС) и системы автоматизированного проектирования (САПР) общего назначения, ориентированные на графическое изображение данных.

В работе проводится анализ этих двух направлений, отмечаются их достоинства и недостатки в применении к моделированию территориально определённых объектов, предлагается ряд требований к универсальной графической системе.

## 1. Геоинформационные системы

Геоинформационные системы первоначально создавались для ведения разнообразной картографической информации, для создания автоматизированных рабочих мест картографа, географа, геолога и т.п. В последующем на базе ГИС стали создаваться системы, использующие пространственную топографическую информацию для решения ряда других прикладных задач. Это в первую очередь задачи анализа, проектирования и управления (управление городским, инженерным хозяйством, землёй и недвижимостью, анализ состояния окружающей среды, анализ и прогноз миграции населения, анализ потребностей региона в инженерных сооружениях и проектирование этих сооружений) [1,2].

В настоящее время основной целью геоинформационных систем является оперативный доступ к картам, получение информации по их объектам, а также пространственный анализ сущностей, представленных на карте.

### 1.1. Структуры данных

Специфика геоинформационных систем, работающих с гигантским количеством информации (объём электронного представления карты порой составляет многие гигабайты), вызвала необходимость теоретически систематизировать и упростить представление таких данных. В итоге исторически сложились два основных направления: *векторные* и *растровые ГИС*, отличающиеся структурами представления данных [3,3].

В *растровых геоинформационных системах* вся информация представляется в виде разбиения территории на ячейки правильной геометрической формы (квадратной, прямоугольной, трапециевидной, треугольной или гексагональной) в некоторой системе координат (географической, прямоугольной геодезической или иной). Сеть может строиться на плоскости, шаре или эллипсоиде, при этом размеры ячеек могут быть разными. В каждой ячейке хранятся неко-

торые значения, которые могут интерпретироваться либо как некоторые характеристики конкретной точки местности (яркость при фотографировании через красный, синий, зелёный фильтры, результаты аэрофотокосмосъёмки в инфракрасном, ультрафиолетовом или другом диапазоне, высота данной точки местности над уровнем моря), либо как некий семантический код, с которым может быть связан произвольный по длине набор атрибутов (код типа местности: пашня, дорога, водоём; код района, квартала и т.д.). Такая модель регулярной сети довольно проста для реализации и в применении, на её основе можно легко решать широкий спектр практических задач [1].

Основным недостатком растрового представления является громоздкость исходных данных. Например, реальные объекты для достаточно детального представления требуют огромного массива данных. Поэтому приходится выбирать между точностью представления (размером ячейки) и размером охватываемой территории. Современные реализации растровых ГИС используют такие разнообразные методы сжатия информации, как алгоритмы универсального назначения (кодирование повторяющихся последовательностей RLE, метод Хаффмана, алгоритмы семейства Lempel-Ziv-Walsh, ARJ, и т.д.), так и технологии, специально созданные для сжатия растровой графики (TIFF, JPEG, фрактальное сжатие графики в стандарте FIF, методы разделения яркостной и хроматической информации YUV, квадратомиические деревья и т.п.). Тем не менее в настоящее время принципиально этот недостаток (громоздкость представления данных) устранить не удаётся.

Другим крупным недостатком растровых ГИС является отсутствие структуризации объектов на верхнем уровне, что, как следствие, приводит к высокой трудоёмкости простых операций. Например, для выделения на карте некоторого региона с заданным кодом необходимо полное сканирование всего растра.

С другой стороны, достоинством растровых ГИС является органичная возможность выполнения пространственного анализа, включающего построение буферных зон, а также выполнение таких операций *алгебры карт* (*map algebra*), как построение пересечений, объединений, разности, сложения, умножения данных в различных растровых слоях (выполнение *оверлеев*).

В *векторных ГИС* вся информация представляется в виде набора неких элементарных объектов – примитивов. Обычно эти объекты подразделяются на точечные (точки, события), линейные (линии, дуги, кривые), площадные (контуры, полигоны), поверхностные (рельеф). Их описание осуществляется заданием соответствующих координат объектов и их частей, а также значений некоторых наборов атрибутов [1].

Вся информация состоит из графических слоев, на которых представлена однородная графическая информация, объединенная по некоторому общему семантическому признаку (например, карта мира может состоять из слоев *горо-*

дов (точек), *стран* (полигонов), *рек* (линий)). Смешение на слое примитивов разных типов обычно не допускается.

По способу описания множества объектов различают два основных векторных формата представления данных: топологический и нетопологический. В нетопологическом формате все объекты кодируются независимо друг от друга, при этом изменение параметров любого из объектов (координат или атрибутов) никак не влияет на параметры других. При таком представлении происходит дублирование координат смежных объектов (особенно полигонов), в нём трудно отслеживать корректность обрабатываемой информации.

В топологическом формате, называемом также линейно-узловым представлением [4,5], выделяется три основных вида объектов: узлы, дуги и полигоны. При этом объектам приписываются характеристики, определяющие топологические отношения между ними. Так, дуги имеют указатели на узлы в своём начале и конце, а также на полигоны слева и справа по ходу движения из начала в конец. Полигоны при этом задаются как совокупность дуг.

### 1.2. Выборка данных

В векторных геоинформационных системах базовыми операциями при просмотре и анализе пространственных отношений графических объектов являются операции регионального поиска и локализации точки. Как правило, эффективность их выполнения определяет оперативность работы системы в целом. Поэтому для работы с большими массивами пространственных данных очень важными являются структуры пространственных индексов, поддерживающие упомянутые задачи поиска и локализации.

В вычислительной геометрии существует множество структур, предназначенных для представления и поиска многомерных пространственных объектов. К ним относятся такие структуры, как клеточные разбиения, квадратомические деревья, *k-d*-деревья, *K-D-B*-деревья, регулярные *Grid*-файлы. В настоящее время наиболее эффективной структурой, позволяющей обрабатывать неточечные объекты и эффективно размещать данные во вторичной памяти, считаются *R*-деревья, а также их модификации, в частности *R\**-деревья [6,7].

### 1.3. Работа с атрибутивной информацией

В большинстве случаев в системах, ориентированных на анализ данных, недостаточно чисто графической информации для адекватной обработки и анализа объектов. Для этого необходимы некоторые непространственные качественные и количественные характеристики объектов, хранящиеся в базах данных.

В современной теории баз данных выделяют иерархические, сетевые и реляционные модели данных [1]. В геоинформационных системах наибольшую

поддержку получили реляционные системы управления базами данных (СУБД) [1,2].

Вся информация о графических объектах разделяется на две относительно независимые части: на графическую и атрибутивную базы данных. Графическая составляющая хранится в некотором внутреннем для геоинформационной системы формате, а атрибутивная – в формате некоторой базовой СУБД. Связь между геометрическим описанием объектов и атрибутами устанавливается либо через некоторые уникальные идентификаторы объектов, либо по абсолютным номерам графических объектов и записей в таблице.

Тип отношения между геометрической и атрибутивной составляющей в разных геоинформационных системах может быть различным. Наиболее распространено отношение «один-к-одному», при этом каждому графическому объекту соответствует ровно одна запись в базе данных (обычно это встречается в ГИС, работающих с локальными СУБД, такими как dBase, FoxBASE, INFO и др.). В ряде систем допускается отношение «многие-к-одному», тем самым появляется возможность объединения нескольких графических примитивов в некоторый единый объект и манипуляции с ним как с единым целым [1,8,9].

При работе с базами данных в ГИС обычно поддерживается довольно широкий набор операций, допустимых в базовой СУБД. К ним относятся такие операции, как навигация по таблицам, выполнение запросов, добавление записей, их модификация и удаление, создание новых атрибутов и удаление старых.

Распространённый приём в ГИС – соединение (операция join) нескольких таблиц по некоторому общему полю. Таким способом можно настраивать геоинформационную систему на конкретную предметную область.

Одно из важных применений атрибутивной информации в ГИС – создание *тематических карт* [1,5], когда графическое представление объектов на карте ставится в зависимость от некоторых атрибутивных данных по объектам. Наиболее распространены такие методы, как отображение на карте однородных объектов различными способами в зависимости от диапазона значений некоторого атрибута, автоматическое подписывание объектов значениями его атрибутов, генерация диаграмм, характеризующих соотношение некоторых характеристик объектов и т.п.

Генерация тематических карт является хотя и простым, но в то же время мощным средством геоинформационных систем, позволяющим наглядно устанавливать пространственные зависимости явлений на карте.

#### 1.4. Трёхмерные ГИС

Решение многочисленных задач на местности немислимо без учёта её рельефа, который выходит за рамки таких двумерных объектов, как точки, ли-

нии, полигоны. Модель поверхности требует других структур данных, поскольку каждая её точка описывается тремя координатами [1,10].

В настоящее время различают несколько основных видов данных, характеризующих поверхность. Это регулярные сети отсчётов высот (равномерные прямоугольная и треугольная сети), нерегулярные сети (отдельно стоящие точки измерения высот), вертикальные профили (списки высот вдоль некоторых линий в плане) и горизонталы (кривые линии на плане с одинаковой высотной отметкой).

При анализе часто приходится переходить от одной формы представления в другую, поэтому для работы строится некоторая внутренняя модель поверхности, на основании которой рассчитываются все другие требуемые представления. В настоящее время наиболее распространены регулярная модель поверхности с прямоугольными ячейками и с билинейной интерполяцией значений внутри них, а также модель триангуляции, построенной по заданному нерегулярному набору отсчётов и множеству структурных линий рельефа [9].

Регулярная модель проще для построения и анализа, но она требует много памяти для своего представления. В модели триангуляции вся поверхность разбивается на совокупность элементарных треугольников, при этом качество аппроксимации поверхности обычно значительно выше, чем в регулярной модели. Алгоритмы построения и анализа триангуляции гораздо сложнее соответствующих алгоритмов для регулярной модели в реализации, что несколько ограничивает её распространение, в особенности при работе с большими массивами данных.

Приведённые модели поверхности называются 2,5-мерными, так как описываемые поверхности должны быть однозначными функциями высот от планового положения точки. На практике иногда встречаются объекты, не вписывающиеся в данные рамки. Для их адекватного представления необходимо полноценное трёхмерное описание с использованием разнообразных графических примитивов.

В настоящее время в ряде геоинформационных систем расширено координатное описание графических примитивов введением третьей координаты, однако этого явно недостаточно для решения различных практических задач, например для объёмного моделирования объектов на поверхности Земли.

### *1.5. Возможности ГИС*

Анализируя основные возможности геоинформационных систем, можно сделать следующие выводы:

1. Область применения геоинформационных систем в последнее время значительно расширилась. Существующих возможностей недостаточно для решения ряда практических задач. В настоящее время практи-

чески не имеют широкого распространения чистые векторные или растровые ГИС. Необходимым требованием становится работа с картой, в которой векторные данные соседствуют с растром, а также данными, не входящими в эту классификацию. Широко распространённые ГИС не обладают достаточным набором графических примитивов для создания адекватных графических изображений многих реальных объектов.

2. Растровые средства ГИС позволяют легко выполнять пространственный анализ объектов, такой как построение буферных зон, оверлеев. При этом их основным недостатком является громоздкость представления пространственных данных, а также недостаточно высокая точность их представления.
3. Разработанная теория векторных ГИС позволяет оперировать с огромными массивами данных, эффективно выполнять разнообразный пространственный анализ на карте.
4. Использование реляционных СУБД позволяет сопоставлять примитивам на карте атрибутивное описание в базе данных, делать выборки из базы с изображением результатов на карте, а также создавать тематические карты.
5. В распространённых ГИС традиционно хорошо развиты модули для работы с моделями однозначных 2,5-мерных поверхностей, в частности с цифровыми моделями рельефа. При этом отсутствуют возможности для создания полноценных 3-мерных моделей объектов.

## 2. Системы автоматизированного проектирования

САПР первоначально создавались как инструментальные средства чертёжника и проектировщика, при этом основной целью работы являлся качественно подготовленный чертёж. В дальнейшем такие системы были расширены разнообразными надстройками для моделирования объектов в различных предметных областях.

В настоящее время для решения многочисленных задач, связанных с территориально расположенными объектами, наравне с геоинформационными системами используются системы автоматизированного проектирования общего назначения. При этом основным преимуществом при работе в системах САПР является наличие богатых изобразительных возможностей для формирования моделей пространственных объектов.

Одной из особенностей графической модели САПР является истинная трёхмерность всех графических примитивов, что позволяет создавать полноценные модели реальных объектов [11,12].

## 2.1. Структуры данных

Модель данных в САПР обладает большим разнообразием графических примитивов. Обычно это такие объекты, как точки, линии, сплайны, полигоны, многоугольники, окружности, эллипсы, кольца, дуги, текстовые надписи, разнообразные поверхности и тела, а также широкий спектр размерных линий.

Системы автоматизированного проектирования, как правило, обладают богатыми средствами твёрдотельного моделирования объектов, в том числе развитыми средствами визуализации в различных чертёжных проекциях.

Для создания рисунков системы САПР имеют богатые интерактивные инструменты формирования моделей объектов, среди них такие, как создание блоков, копирование объектов, разнообразные координатные преобразования, функции подтяжки, автоматической простановки размеров, операции отсечения и объединения объектов, а также многие другие функции.

В связи с тем, что все объекты изначально являются трёхмерными, для полноценной работы с пространственными моделями объектов в системах САПР используются специальные вложенные трёхмерные структуры, позволяющие эффективно выполнять поиск и анализ объектов построенной модели. В то же время пространственный поиск объектов в плоскости недостаточно эффективен, так как используемые трёхмерные структуры не учитывают особенности планарного регионального поиска.

## 2.2. Работа с атрибутивной информацией

Особенностью САПР является то, что графические примитивы здесь – элементы объектов, в отличие от ГИС, где примитивы представляют собственно объекты. Поэтому в системах САПР средства атрибутивного описания объектов гораздо слабее. Часто описанием объектов служат характеристики некоторых графических примитивов, например содержимое текстовых надписей. Кроме того, рисунок может описывать только один объект, и тогда описанием объекта служит описание рисунка в целом.

В настоящее время в некоторых системах САПР появились надстройки, позволяющие задавать атрибутивное описание графических примитивов. При этом атрибутика может храниться во внешней базе данных, связь с которой устанавливается через ключевые поля, либо в самом рисунке в виде расширенных данных объектов.

Недостатком большинства существующих реализаций систем автоматизированного проектирования является отсутствие удобного интерфейса для манипуляции с атрибутивными данными. Так как атрибутика часто хранится в виде расширенных данных графических объектов, то эффективность выборки и анализа данных также остаётся довольно низкой, в частности потому, что при этом невозможно использовать мощные стандартные средства коммерческих СУБД.

### 2.3. Технологические и функциональные схемы

Системы автоматизированного проектирования имеют богатый набор графических примитивов, что позволяет создавать изображение сколь угодно высокой сложности, в том числе принципиальные, функциональные, оперативные, технологические схемы, схемы инженерных коммуникаций на плане местности, другие схемы и планы. Для САПР разработаны многочисленные надстройки, позволяющие выполнять проектирование и анализ таких чертежей.

Недостатком при этом является невозможность работы с большими по объёму данными схемами. Обычно для достижения достаточной эффективности работы схемы разбиваются на части, которые просматриваются и анализируются отдельно друг от друга.

### 2.4. Возможности САПР

Анализируя основные возможности систем автоматизированного проектирования общего назначения, можно сделать следующие выводы:

1. Системы автоматизированного проектирования обладают богатым набором графических примитивов, позволяющим создавать адекватные графические изображения реальных объектов.
2. Модель данных САПР изначально предполагает, что все графические примитивы задаются в трёхмерном пространстве. Поэтому такие системы располагают богатыми средствами твёрдотельного моделирования объектов, в том числе развита визуализация в различных чертёжных проекциях.
3. Для эффективного доступа к данным используются вложенные трёхмерные структуры. С другой стороны, доступ к плоским данным никак не оптимизирован.
4. Системы САПР обладают богатыми интерактивными инструментальными возможностями формирования графической модели объектов.
5. Большинство систем автоматизированного проектирования позволяет легко расширять свои возможности с помощью встроенных языков программирования. Для наиболее распространённых систем САПР разработано огромное количество надстроек самого широкого назначения.
6. Использование атрибутивной информации во многих САПР ограничено и реализовано гораздо менее эффективно, чем в специализированных СУБД. Использование внутренних форматов хранения атрибутивных данных во многом ограничивает их применение в смежных прикладных системах.



### 3. Требования к универсальной графической системе, работающей с территориально определённой информацией

В настоящее время многочисленные задачи, связанные с территориально определёнными объектами, решаются с использованием как геоинформационных систем, так и систем автоматизированного проектирования. При этом каждый из классов систем обладает принципиальными недостатками, которые сложно преодолеть, оставаясь в рамках существующих концепций упомянутых систем. Именно поэтому приходится использовать разные системы на различных этапах технологической цепочки решения сложных задач, а это громоздко и неудобно на практике.

Таким образом, назрела необходимость создания универсальной графической системы, которая бы вобрала в себя всё лучшее, что предоставляют проанализированные в работе классы систем программного обеспечения. На основании проведённого в предыдущих разделах анализа систем классов ГИС и САПР в следующих разделах выдвигается ряд требований к такой универсальной среде, а также предлагаются подходы к её реализации.

#### 3.1. Структуры данных, их хранение и выборка

Требование 1. Вся графическая информация должна быть упорядочена в виде совокупности разнотипных слоёв. В качестве графических слоёв должны выступать данные, традиционные для геоинформационных систем, такие как слои векторных топологических и нетопологических данных, растровые слои, слои рельефа (регулярные и нерегулярные модели), косметические слои, а также слои сложной графики, предоставляемой в существующих системах автоматизированного проектирования. В том числе должна быть обеспечена возможность создания изображений технологических схем на карте местности.

Требование 2. Для всех векторных объектов должна быть представлена полноценная возможность их трёхмерного описания.

Требование 3. Для обеспечения эффективной выборки данных все векторные объекты слоёв должны быть проиндексированы с использованием специальных структур, например с помощью R-деревьев.

Требование 4. Для растровых данных должна быть обеспечена возможность оперативной работы с большими по объёму файлами, в частности высокоэффективная визуализация растровых изображений.

Требование 5. Для работы с растром на картах должны быть обеспечены такие основные операции, как координатная привязка, настройка яркости, контраста, оттенка; отрисовка с полупрозрачным наложением слоёв, фильтрация изображения.

Требование 6. Система должна обладать богатыми инструментальными возможностями по вводу и коррекции информации, свойственными системам автоматизированного проектирования. В том числе возможностями по автоматическому вводу данных из систем дистанционного зондирования, геодезических приборов, а также возможностями по векторизации растровых изображений в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах.

Требование 7. Для векторных и растровых данных должны быть определены операции алгебры карт: построение буферных зон, выполнение наложенных графических данных, включая объединение, пересечение и вычисление разности регионов.

### 3.2. Работа с атрибутивной информацией

Требование 8. Для всех объектов на карте и их логических совокупностей должна быть предусмотрена возможность атрибутивного описания, подключение внешних баз данных по стандартным протоколам типа ODBC, IDAPI или BDE. Модель данных используемой базовой СУБД должна быть реляционной.

Требование 9. Должна быть обеспечена возможность выполнения условной выборки графических объектов по значениям атрибутов с использованием некоторого языка запросов, например при работе с внешними данными на языке SQL.

Требование 10. При создании изображений технологических схем должны быть обеспечены удобные средства для их атрибутивного наполнения, достаточного для выполнения технологических расчётов, в первую очередь для решения задач на графах.

### 3.3. Визуализация

Требование 11. Система должна обеспечивать возможность отображения графических данных в различных чертёжных и картографических проекциях, а также корректное отображение на карте данных, представленных в разных системах координат.

Требование 12. Должна обеспечиваться возможность составления тематических карт, для чего необходима постановка в зависимость графического изображения объектов на карте от некоторых его характеристик, в том числе атрибутов.

Требование 13. Распечатка электронных карт должна обеспечиваться с качеством, соответствующим нормам составления картографических материалов любых масштабов, а также отраслевым нормам отображения технологических схем.

### 3.4. Интерфейс и расширение системы

Требование 14. Система должна обеспечивать интеграцию разнообразных данных, таких как карты, схемы, текстовые документы, растровые изображения, произвольные составные документы в виде проектов.

Требование 15. Система должна быть расширяемой как со стороны разработчиков, так и пользователей-программистов. Должна быть обеспечена возможность создания независимых программ, используя компоненты основной системы, например по протоколам ActiveX и OSH.

### 3.5. Моделирование рельефа

Требование 16. Система должна поддерживать моделирование поверхностей, построенных на базе регулярных и нерегулярных систем отсчётов.

Требование 17. Необходима возможность визуализации модели поверхности в различных трёхмерных проекциях с нанесёнными на поверхность другими объектами, а также плоская визуализация в условных цветах.

Требование 18. В применении к моделированию рельефа местности необходимо наличие таких базовых операций, как интерполяция высот, вычисление расстояний и площадей по поверхности, построение изолиний, изоклин, разрезов, объёмов земляных работ, зон видимости, бассейнов стока.

### 3.6. Графовые задачи

Требование 19. Необходимы средства для работы с транспортными сетями: алгоритмы поиска на графах, расчёт потоков, оптимального расположения пунктов обслуживания, анализ близости, вычисление оптимальных маршрутов движения.

Требование 20. Для решения задач на технологических схемах необходимы средства анализа топологической связности элементов схем, выделения мультиграфовых структур, описывающих реальные электрические, трубопроводные и другие функциональные схемы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1993. – 213 с.
2. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
3. Мараховский Я.М., Тикунов В.С. Некоторые структуры для представления пространственных данных в географических информационных системах // Автоматизированная картография и геоинформатика. – М., с. 41-63.

4. ArcCAD User's Guide. Environmental Systems Research Institute. Inc., NY, 1992. – 256 p.
5. ArcView GIS. Environmental Systems Research Institute, Inc., NY, 1997. – 350 p.
6. Beckmann N., Kriegel H., Schneider R., Seeger B. The R\* tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles // ACM, 1990, p. 322-331.
7. Guttman A. R-trees: A Dynamic Index Structure For Spatial Searching // Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, 1984, p. 47-57.
8. AutoCAD Map 2: User's Guide. Autodesk. Inc., 1997. – 624 p.
9. ERDAS Field Guide. ERDAS. Inc., 1997. – 672 p.
10. Желтов С.Ю., Инвалев А.С., Кирьяков К.Р., Степанов А.А. Особенности реализации 3D ГИС // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. № 5(12), 1997, с. 52-53.
11. AutoCAD 14: User's Guide. Autodesk. Inc., 1997. – 874 p.
12. Microstation 95 User's Guide. Bentley Systems. Inc., 1997. – 358 p.