

УДК 004.9+004.658

ОБНОВЛЕНИЕ БАЗ ГЕОДАНЫХ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Бучкин Виталий Алексеевич,

*д-р техн. наук, профессор, кафедра проектирования и строительства железных дорог,
e-mail: buchkin@mail.ru,*

Российский университет транспорта (ПУТ-МИИТ), г. Москва

В статье исследуются технологии и методы обновления баз геоданных. Показаны связь информации в базе геоданных с моделью картины мира, различие между обновлением базы данных и регенерацией базы геоданных. Приводится обоснование создания и применения нового понятия «буферная зона обновления данных». Раскрывается содержание дистанционных методов космического зондирования. Показано, что основой космических технологий является геоинформационное моделирование. Обобщены основные требования к хранимой в базе геоданных информации: информационное и структурное. Сформулировано информационное требование как необходимость преобразования данных в геоданные и, соответственно, выделения трех компонент: пространственного, временного и тематического. Сформулировано структурное требование, которое состоит в структурной согласованности геоданных, описывающих разные объекты. Предложена формализованная концептуальная модель обновления базы геоданных в терминах теории множеств и логических схем, представляющая механизм построения новой картины мира на основе уже существующей.

Ключевые слова: пространственная информация, база данных, базы геоданных, регенерация базы данных, дистанционные методы зондирования

UPDATING GEODATABASES BASED ON SPACE INFORMATION

Buchkin V.A.,

*doctor of technical sciences, professor, department of design and construction of railways,
e-mail: buchkin@mail.ru,*

Russian University of Transport (RUT-MIIT), Moscow

This article explores technologies and methods for updating GEODATA databases. The relationship of information in the GEODATA database with the worldview model is shown. The difference between updating a database and regenerating a GEODATA is shown. The rationale for creating and applying the new concept of “data update buffer zone” is given. The content of remote space sensing methods is revealed. It is shown that the basis of space technologies is geoinformation modeling. The main requirements for information stored in a GEODATA database are summarized: informational and structural. The information requirement is formulated as the need to transform data into GEODATA and, accordingly, to allocate three components: spatial, temporal and thematic. A structural requirement has been formulated that consists in the structural consistency of GEODATA describing different objects. A formalized conceptual model of updating the GEODATA database in terms of set theory and logical schemes is proposed. It represents a mechanism for building a new worldview based on an existing one.

Keywords: spatial information, database, GEODATA, database regeneration, remote sensing methods

DOI 10.21777/2500-2112-2020-1-58-68

Введение

Космические исследования являются важным источником получения информации о земной поверхности и построения научной картины мира [10]. Современные космические исследования и построение картины мира связаны с применением таких областей знаний, как геоинформатика, гео-

графия, геодезия. Кроме этого применяются космическая геодезия и космическая география [11]. Геоинформатика как наука, интегрирующая науки о Земле, также имеет все основания на термин «космическая» [23]. Особенностью космической геоинформатики является комплексный подход к исследованию космического пространства и хранение информации на основе преобразования ее в геоданные. Пространственная информация хранится большей частью в базах геоданных. Обновление пространственной информации требует значительных трудозатрат оператора и времени на обработку геоданных [14]. В связи с этим совершенствование алгоритмов обработки геоданных является актуальной задачей. Достаточно посмотреть карты или фотографии системы Google, чтобы убедиться в том, что часть информации является неактуальной или ошибочной. В мегаполисах ежегодно обновляются и появляются тысячи объектов. Это ставит проблему, связанную с регулярным выявлением новых объектов и обновлением информации о них. Учитывая высокую обзорность космических наблюдений, они могут быть лучшим средством для сбора информации о новых и измененных объектах.

1. Базы данных и геоданных

Геоданные, как и другие виды пространственных данных, являются интегрированными. В аспекте системного подхода этот вид данных представляет собой систему данных или системный информационный ресурс [12]. Системность геоданных существенно упрощает их применение при поиске информации в базах пространственных данных и при обновлении этих баз данных. Геоданные хранят в разных базах данных, в зависимости от области применения и решаемых задач. Геоданные хранят в обычных базах данных [20], в базах данных пространственной информации, в хранилищах данных, в репозиториях, в инфраструктурах пространственных данных [9] и в базах геоданных.

Базы геоданных предъявляют два основных требования к хранимой информации. Первое требование информационное. Оно состоит в том, что входная информация или входные данные должны быть преобразованы в геоданные. Это требование состоит в явном выделении трех компонент: пространственной, временной и тематической составляющей. Второе требование структурное. Оно состоит в том, что между геоданными, описывающими разные объекты, должна существовать структурная согласованность геоданных [3]. Эти данные должны иметь структуру, соответствующую геоданным. Тематическая составляющая может быть структурирована дополнительно.

База геоданных (БГД) хранит разнообразную информацию, имеющую разные формы представления. Чаще всего это описание пространственных моделей, которые создаются на основе интеграции, стратификации и пространственных информационных единиц. Эти модели позволяют проводить систематизацию и системный анализ пространственной информации для решения задач в разных предметных областях.

База геоданных всегда хранит топологию объектов. В геоинформационных системах (ГИС) она ассоциативно связана с программой визуализации геоданных [4]. Информация из БГД может быть визуально представлена в виде планов, карт или чертежей. Поэтому часто информация в БГД имеет вид картографической модели, причем не просто карты, а мультикарты. Это накладывает дополнительное требование на интерфейс БГД, который должен обеспечивать требования составления и представления карт. Процесс обновления пространственных данных в БГД является сложным, так как требует комплексных изменений, данных, визуальных моделей и картографического представления. Например, обновление части карты, которая хранится в БГД, связано с анализом геометрических характеристик всех объектов карты, а не только обновляемой части. Особенно важен анализ объектов, которые частично пересекают обновляемую область карты, так как и их, возможно, потребуется обновлять. С этим связано понятие зоны обновляемой карты и буферной зоны обновляемой карты (рисунок 1).

Такое условие приводит к тому, что интерфейс БГД должен включать ряд подсистем (зоны и буферной зоны), не применяемых в обычных реляционных базах данных. Картографическое представление БГД можно рассматривать как модель описания картины мира [10]. При этом следует подчеркнуть, что это не описание одной карты, а избыточная информация в БГД, которая позволяет строить карты разных масштабов. Такой подход дает возможность рассматривать концептуально обновление БГД как

механизм построения новой картины мира на основе уже существующей и основание изобразить процесс обновления U в формализованном виде

$$U_i \{M(t_i), Q(t_{i-1}), P(t_i), I(t_i), V(t_i)\} \rightarrow Q(t_i), \quad (1)$$

где $M(t_i)$ – новые сведения о внешнем мире, которые служат основой обновления;

$Q(t_{i-1})$ – информационный срез данных БГД на предшествующее обновлению время;

$P(t_i)$ – методы, алгоритмы и технологии получения новой информации;

$I(t_i)$ – методы, алгоритмы и технологии интерпретации информации в БГД; $V(t_i)$ – методы, алгоритмы и технологии обновления информации в БГД;

$Q(t_i)$ – обновленная часть данных БГД, построенная на основе процесса обновления.



Рисунок 1 – Зона обновления БГД и буферная зона обновления

Обновленная часть данных БГД в выражении (1) может быть представлена в терминах теории множеств

$$Q(t_i) = Q(t_{i-1}) + Vf(t_{i-1}). \quad (2)$$

Выражение (2) говорит о том, что новая обновленная область данных $Q(t_i)$ включает область обновляемых данных $Q(t_{i-1})$ плюс буферную зону $Vf(t_{i-1})$ обновления данных. Из выражения (2) следует, что объем зоны обновления всегда больше зоны обновляемых данных. С течением времени эта зона растет, а не остается постоянной.

Результатом обновления является новый функционал базы данных F_{i+1} (модель картины мира), содержащий информацию о внешнем мире на основе новых актуальных сведений, предшествующего опыта, известных инструментов познания, и может быть представлен в виде (3)

$$F_{i+1} \{M(t_i), Q(t_i), P(t_{i+1}), I(t_{i+1})\}. \quad (3)$$

Процесс обновления можно изобразить логической схемой вида

$$F_i \wedge U_i \rightarrow F_{i+1}. \quad (4)$$

Выражение (4) интерпретируется следующим образом: предшествующая картина мира (F_i) в БГД в сочетании с технологиями обновления (U_i) и новой информацией приводит к построению новой картины мира (F_{i+1}).

Новый функционал зависит от предшествующей модели и применяемых инструментов получения и интерпретации информации. Следует отметить, что обновление может приводить не только к изменению данных, но и к изменению методов интерпретации и получения информации. В этом случае говорят о регенерации базы данных.

На практике возможны разные процессы обновления F_i . Эти процессы отражены выражениями (5)–(8):

$$F_{i+1} = F_i \wedge Q(t_{i+1}) + Bf(t_{i+1}), \quad (5)$$

$$F_{i+1} = F_i \wedge \{Q(t_{i+1}) + Bf(t_{i+1}) + P(t_{i+1})\}, \quad (6)$$

$$F_{i+1} = F_i \wedge \{Q(t_{i+1}) + Bf(t_{i+1}) + I(t_{i+1})\}, \quad (7)$$

$$F_{i+1} = F_i \wedge \{Q(t_{i+1}) + Bf(t_{i+1}) + P(t_{i+1}) + I(t_{i+1})\}. \quad (8)$$

Процесс обновления (5) реализуется на основе новых данных и сводится к замене данных в обновляемой области и замене данных в буферной зоне.

Выражение (6) говорит о том, что данный процесс обновления приводит к замене данных в обновляемой области и замене данных в буферной зоне и обновлению средств сбора и обработки информации.

Выражение (7) говорит о том, что данный процесс обновления приводит к замене данных в обновляемой области и замене данных в буферной зоне и обновлению средств интерпретации информации.

Выражение (8) говорит о том, что данный процесс обновления приводит к замене данных в обновляемой области и замене данных в буферной зоне, обновлению методов интерпретации информации и обновлению средств сбора и обработки информации. Выражение (8) описывает регенерацию базы данных [7; 8].

2. Космическое дистанционное зондирование при обновлении БГД

Следует различать понятие дистанционное зондирование (ДЗ) и дистанционное космическое зондирование (ДКЗ). В широком понимании ДЗ – это получение информации любыми дистанционными методами об объектах на поверхности Земли, над поверхностью и под поверхностью [5]. Эти методы используют достижения в следующих областях наук: оптика, физика, фотограмметрия, геодезия, радиолокация, лазерное сканирование. Дистанционное космическое зондирование Земли – это совокупность технологий получения информации с использованием технических средств с борта космических аппаратов.

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) – это данные, получаемые с помощью ДКЗ. В настоящее время они служат основой для получения актуальной информации об объектах и процессах на земной поверхности. Классификация методов получения ДДЗ показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Методы получения данных дистанционного зондирования

В земных условиях фотограмметрические методы являются наиболее распространенными. Это обусловлено высоким уровнем развития съемки с воздушных носителей, включая беспилотные ле-

тательные аппараты (БПЛА), и традиционным уровнем развития фотограмметрических технологий (более 100 лет). Фотограмметрические изображения обладают высокими измерительными и изобразительными характеристиками и массовым сбором информации о местности. Именно по этой причине фотограмметрические методы были перенесены на космические аппараты и являются основой ДКЗ. Основными элементами системы ДКЗ являются: съемочная аппаратура наблюдения в разных диапазонах электромагнитных волн, носитель информации, носитель аппаратуры, расстояние до снимаемой поверхности, зона наблюдения, взаимное состояние «зона – аппаратура наблюдения». ДКЗ характеризуются тем, что съемочная аппаратура значительно удалена от исследуемого объекта в сравнении с наземными наблюдениями и съемками.

В технологиях ДКЗ получают информацию в разных спектральных диапазонах: рентгеновском, ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном. Чем меньше длина волны, тем выше точность измерения положения объекта. Длины волн оптического диапазона меньше длин волн теплового или радиолокационного диапазона. Поэтому оптические наблюдения, фиксируемые на фотопленку или с помощью сканирующих устройств, более информативны и точны. Сложность и особенность дистанционного зондирования определяются значительным влиянием помех на полезный сигнал.

Носитель информации характеризуется информационной емкостью в байтах (Мбайтах и т.п.). Информационная емкость и информативность – разные понятия [22]. Информационная емкость характеризует допустимый для хранения объем информации на носителе в байтах. Информативность – семантическая характеристика, которая характеризует содержательность информации в модели, на носителе, в базе данных и т.п. [16].

В зависимости от аппаратуры и технологии сбора данных выбираются соответствующие методы ДКЗ. При ДКЗ возможно наблюдение всех интересующих наблюдателя объектов зоны или наблюдение части объектов зоны.

3. Космический мониторинг как системный метод получения ДДЗ

Технологии ДКЗ могут быть разовыми, периодическими и систематическими. Систематической технологией получения ДДЗ является космический мониторинг [6; 17], основой которого является геоинформационный мониторинг. Геоинформационный мониторинг интегрирует технологии сбора наземной информации. Космический мониторинг имеет самый разнообразный спектр сбора информации в разных диапазонах электромагнитных волн. Сочетание множества источников информации с интегрированной технологией служит основой интеграции космических исследований и геоинформатики. Поэтому идеология геоинформатики, геоинформационных технологий и геоинформационного мониторинга [19] служит основой интеграции космического мониторинга. В силу этого основой космических технологий формирования геоданных является геоинформационное моделирование. Поэтому многообразие информации, получаемой при космическом мониторинге, служит основой для масштабного обновления баз геоданных. Тенденция интеграции в геоинформатике способствовала созданию интегрированных геоинформационных систем (ГИС) [2].

Космический мониторинг применяют для решения разных задач: исследования экологического состояния почвы; контроль над движением транспортных средств; контроль над объектами недвижимости; анализ пожароопасных ситуаций; контроль над трубопроводным транспортом; контроль над транспортной инфраструктурой и др. На рисунке 3 показан фрагмент транспортной инфраструктуры, полученный на основе космической съемки в оптическом диапазоне.

Рисунок 3 показывает многообразие и детальность космического мониторинга. Он позволяет выполнять цифровую обработку и когнитивный анализ видеоданных. Когнитивный видеоанализ включает участие человека для качественного анализа и последующего выявления необходимости обновления БГД. Рисунок 3 также показывает важную проблему организации и обновления БГД. Геоданные БГД хранят с возможностью их визуального представления. Визуальное представление может быть либо в виде карт, либо изображений, либо совмещает карты и изображения, либо в виде трехмерных моделей. Кроме того, 3D-модели часто формируют в виде компьютерных анимаций, что требует больших объ-

емов памяти компьютера или носителя. Анимационная форма представления процессов и событий часто используется при разработке сценариев ситуационного моделирования [21].

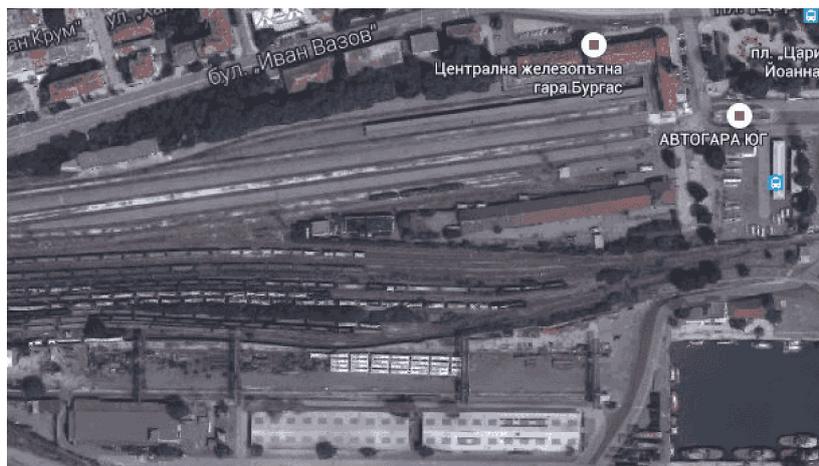


Рисунок 3 – Фрагмент транспортной инфраструктуры, полученный по космической съемке (<http://www.earthexplorer.usgs.gov/>)

В интегрированных ГИС и интегрированных БГД применяют все виды представления геоданных. В этом случае БГД называется мультимасштабной картой [13], поскольку создает возможность хранить и представлять совокупность карт разных масштабов. Карты разных масштабов качественно отличаются видом координатной сетки, эллипсом искажений и эллипсом масштабов, а также видами условных знаков. Поэтому нельзя считать, что в мультимасштабной базе данных хранится одна модель карты. При этом следует отметить, что карты занимают небольшой объем. Максимальный объем для хранения требуют изображения. Например, снимок формата А4 при сканировании с разрешением 300 л/ин имеет объем 29 Мбайт. Большая часть информации БГД представляется в виде картографических изображений. Однако многие карты хранятся в растровом виде, и это на порядки увеличивает их информационный объем.

Для многих БГД основной задачей представления пространственной информации является формирование визуальной модели карт. Для экономии памяти видеоданные хранят в виде тайловой структуры [26]. Тайловая структура основана на паттернах изображения и на 3–4 порядка уменьшает объем хранения. Это достигается за счет того что информационной единицей хранения становится не пиксель, а фрагмент изображения 256×256 пикселей. При выводе на экран визуальная векторная модель преобразуется в растровое изображение как с помощью пикселей, так и с помощью тайлов.

Другим важным процессом для БГД является процесс обновления введенных тайловых данных. Дополнительная проблема возникает при необходимости оперативно обновлять данные. Формально для этой цели можно выделить большое количество операторов, которые визуально следили бы и меняли необходимые участки карт или информационных полей данных БГД. Однако, если количество обновляемых объектов исчисляется тысячами, а в карте меняется всего лишь часть $Q(t_{i-1})$ (выражение 1), уследить за всеми изменениями оператору невозможно, а процесс новой перестройки тайлов требует при ручной коррекции много времени. Эта ситуация описывает семантический разрыв между необходимостью обновления и возможностями человека. Поэтому возникает задача автоматизации данного процесса, которая решается применением интеллектуальных информационных технологий.

4. Дихотомическое деление в пространстве параметров при обновлении информации

При вводе ДДЗ и при обновлении в БГД формируются большие объемы исходной информации. Это создает ситуацию больших данных или информационного барьера. Для преодоления информационного барьера нужны алгоритмы автоматизированной обработки, исключаящие нагрузку на операторов.

ра. Одним из таких методов и алгоритмов является дихотомический подход [18; 25]. Реализация этого подхода возможна с применением разных математических методов. Одним из простых, но достаточно эффективных методов является метод разделяющей гиперплоскости в пространстве параметров [1; 15]. На рисунке 4 приведена структура рекуррентного дихотомического деления на основе разделяющей гиперплоскости.

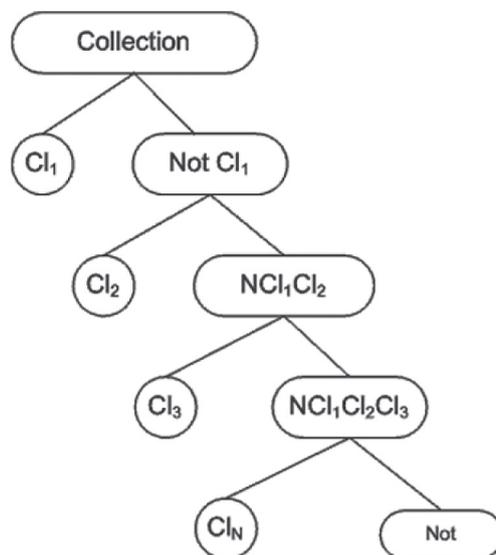


Рисунок 4 – Дихотомическое деление информационной коллекции методом гиперплоскости

Классический метод разбивает пространство параметров на два класса. Но когда классов много, целесообразно разбиение по принципу «группа классов А – группа классов не А». В этом случае на первом этапе задаются признаки одного класса из группы классов А (Cl_1), и разделение осуществляют на эту группу классов и все остальное. В оставшейся части выделяют следующий класс этой группы и так далее, пока не выделят все классы группы А.

Автоматизированная обработка применяется и при визуализации информации, включая обновление. В настоящее время за рубежом и в России наблюдается тенденция применения методов искусственного интеллекта для обработки геоданных [24]. Поэтому для решения задачи обновления данных в БГД предложен алгоритм автоматизированного обновления, который на основе правил осуществляет анализ и обеспечивает возможность перестраивать области данных, в которых произошли изменения.

Операции с одним тайлом выполняются атомарно, как с одной информационной единицей. При вычислениях для каждого массива необходимо оценить количество информационных единиц, к которым осуществляется доступ при выполнении операций вычисления. Эта оценка влияет на вычислительный алгоритм. Если часто используемые элементы структурированных массивов не помещаются в разделяемой памяти, необходимо уменьшить размер тайла. На рисунке 5 представлена структурная модель обновления информации в БГД, которая входит в автоматизированную аналитическую систему (АИС), реализующую этот алгоритм. Следует отметить, что интеллектуальное обновление или иное автоматизированное обновление БГД невозможно средствами любой базы данных. Поэтому для автоматизированного обновления БГД необходимо либо включать в состав АИС, либо создавать интеллектуальную оболочку для базы данных.

Недостатком применения тайлов является необходимость работы с двумя пространствами: реальным пространством пространственных объектов и параметрическим пространством, в котором представляются тайлы. При сложном обновлении первая итерация осуществляется оператором с использованием его опыта и когнитивных возможностей. Оператор на первом шаге изменяет некоторые пространственные данные, добавляя их в БГД. Для анализа изменения данных (этап 1) используется

ГИС, ведущая журнал транзакций. АИС анализирует изменения БГД. В качестве основных параметров сравнения могут выступать размер и дата изменения файла. На следующем этапе данные попадают в ядро системы обновления АИС, в котором происходит анализ и сравнение предыдущего состояния системы $Q(t_{i-1})$ и новых измененных данных $Q(t_i)$ (выражение 2).

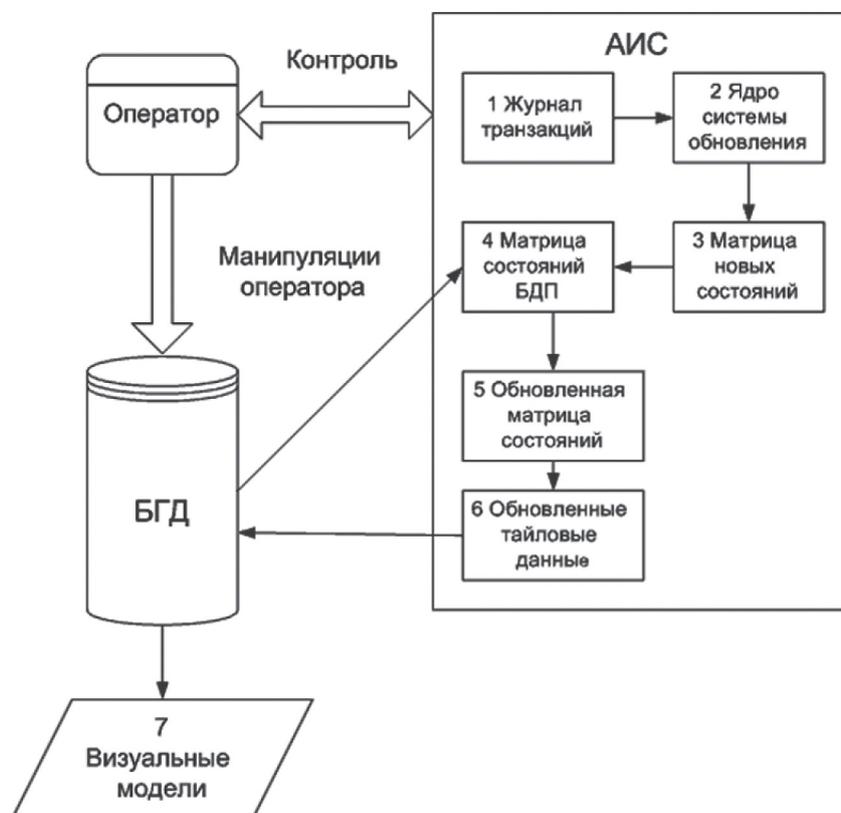


Рисунок 5 – Структурная модель автоматизированного обновления БГД

Для визуальной информации этот анализ включает анализ изменения внешнего вида объекта. На основе ручного ввода, который фиксируется в журнале транзакций БГД, алгоритм определяет, какие объекты изменены. После этого формируется в автоматическом режиме буферная зона обновления $Vf(t_{i-1})$. Формирование буферной зоны – это достаточно отработанная автоматизированная процедура, которая человеком выполнена быть не может, но алгоритмически эта задача решается быстро и с необходимой точностью.

На основе указанных процессов алгоритм АИС определяет пространственное положение объектов в тайловой модели буферной зоны, а также нового $Q(t_i)$ и старого $Q(t_{i-1})$ состояния объекта зоны обновления данных. Средством контроля для растровой информации с формами блочной структуры является контрольная сумма каждого блока и совокупности блоков. При несоответствии этой величины для нового $Q(t_i)$ и старого $Q(t_{i-1})$ состояния БГД определяется пространственное положение в пространстве параметров нового и старого состояния зоны обновления БГД. На следующем этапе обновленная информация анализируется. На основе анализа изменения внешнего вида объекта строится параметрическая матрица новых состояний в тайловом пространстве. Следует отметить, что метод тайлового хранения изображений напоминает метод блокового хранения чертежей в САПР. Память экономится, но чертеж или изображение собираются либо из блоков либо из тайлов. Матрица новых состояний в БГД формирует реальное изображение из тайлов. При большом количестве данных процедура параметрического обновления работает в фоновом режиме и может следить сразу за несколькими зонами обновления БГД. Такая процедура недоступна при работе оператора, который может обновлять только одну область и не может перейти к другой, пока не закончит обновление первой. При

завершении обновления изменения сохраняются в пространстве параметров тайлов и в пространстве реального объекта.

Заключение

Технология обновления БГД связана с технологиями работы в реальном пространстве и в пространстве параметров. Введение двух пространств БГД, на первый взгляд, усложняет процесс обновления, но реально по отношению к человеку-оператору такое обновление на порядки ускоряется. С пространством параметров работает компьютер. Буферную зону строит компьютер. Человек инициирует начальный этап обновления и задает параметры. Вывод состоит в том, что для технологии БГД с большими объемами информации неприемлемы традиционные способы обновления при помощи транзакций и запросов. Формально такой механизм обновления БГД выглядит более сложным, но фактически с точки зрения временных затрат и нагрузки на человека оно менее трудоемко. В то же время данное направление требует проведения дальнейших исследований.

Список литературы

1. Аникина Г.А., Поляков М.Г., Романов Л.Н., Цветков В.Я. О выделении контура изображения с помощью линейных обучаемых моделей // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1980. – № 6. – С. 36–43.
2. Булгаков С.В., Ковальчук А.В., Цветков В.Я., Шайтура С.В. Интегрированные геоинформационные системы. – М.: МГТУ им. Баумана, 2007. – 113 с.
3. Дулин С.К., Розенберг И.Н. Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. – 2005. – Т. 11, № 3. – С. 16–29.
4. Зейлер М. Моделирование нашего мира. Руководство ESRI по проектированию базы геоданных. – М.: Дата, 1999. – 254 с.
5. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
6. Копылов В.Н. Космический мониторинг окружающей среды. – М.: Полиграфист, 2008. – 216 с.
7. Матчин В.Т. Применение эволюционного моделирования для регенерации программного обеспечения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2019. – № 4 (29). – С. 42–52.
8. Матчин В.Т. Регенерация баз данных. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2019. – 169 с.
9. Матчин В.Т. Состояние и развитие инфраструктуры пространственных данных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 1 (9). – С. 137–144.
10. Савиных В.П. Космические исследования как средство формирования картины мира // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 56–62.
11. Савиных В.П., Смирнов Л.Е., Шингарева К.Б. География внеземных территорий. – М.: Дрофа, 2009. – 252 с.
12. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии наук. – 2014. – Т. 84, № 9. – С. 826–829.
13. Самсонов Т.Е. Мультимасштабные базы геоданных для электронных карт // Пространственные данные. – 2009. – № 4. – С. 46–51.
14. Смоктий О.И. Теория переноса излучения и проблемы космической геоинформатики // Труды СПИИРАН. – 2002. – № 1. – С. 223–240.
15. Толмачев И.Л., Хачумов М.В. Бинарная классификация на основе варьирования размерности пространства признаков и выбора эффективной метрики // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 2. – С. 3–10.
16. Трофимов Д.М., Кац Я.Г., Сонин И.И. Некоторые вопросы геологической информативности космических снимков // Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. – М.: ВИНТИ, 1976. – С. 287–292.
17. Цветков В.Я. Анализ применения космического мониторинга // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 48–55.

18. *Цветков В.Я.* Дихотомический анализ сложности системы // Перспективы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 15–20.
19. *Цветков В.Я.* Информатизация, инновационные процессы и геоинформационные технологии // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 4. – С. 112–118.
20. *Цветков В.Я.* Проектирование структур данных и базы данных. – М.: Московский государственный университет геодезии и картографии, 1997. – 90 с.
21. *Шайтура С.В.* Информационная ситуация в геоинформатике // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 5 (17). – С. 103–108.
22. *Шойдин С.А.* Информационная емкость голограмм в практических применениях // Гео-Сибирь. – 2006. – Т. 4. – С. 52–54.
23. *Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya.* New Scientific Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design. – 2015. – No. 4 (10). – P. 118–126.
24. *Hill L.L.* Georeferencing: the geographic association of Information. – Cambridge: Massachusetts Institut of Technology, 2009. – 272 p.
25. *Morimune K.* Comparisons of normal and logistic models in the bivariate dichotomous analysis // Econometrica: Journal of the Econometric Society. – 1979. – P. 957–975.
26. *Wei L.Y.* Tile-based texture mapping on graphics hardware // Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS conference on Graphics hardware. – ACM, 2004. – P. 55–63.

References

1. *Anikina G.A., Polyakov M.G., Romanov L.N., Cvetkov V.Ya.* О выделении контура изображения с помощью линейных обучаемых моделей // Известия АН ССРСР. Техническая кибернетика. – 1980. – № 6. – С. 36–43.
2. *Bulgakov S.V., Koval'chuk A.V., Cvetkov V.Ya., Shajtura S.V.* Интегрированные геоинформационные системы. – М.: МГТУ им. Баумана, 2007. – 113 с.
3. *Dulin S.K., Rozenberg I.N.* Об одном подходе к структурной согласованности геоданных // Мир транспорта. – 2005. – Т. 11, № 3. – С. 16–29.
4. *Zejler M.* Моделирование нашего мира. Руководство ESRI по проектированию базы геоданных. – М.: Data, 1999. – 254 с.
5. *Kashkin V.B., Suhinin A.I.* Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Logos, 2001. – 264 с.
6. *Kopylov V.N.* Космический мониторинг окружающей среды. – М.: Полиграфист, 2008. – 216 с.
7. *Matchin V.T.* Применение эволюционного моделирования для регенерации программного обеспечения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2019. – № 4 (29). – С. 42–52.
8. *Matchin V.T.* Регенерация баз данных. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2019. – 169 с.
9. *Matchin V.T.* Состояние и развитие инфраструктуры пространственных данных // Образовательные ресурсы и технологии. – 2015. – № 1 (9). – С. 137–144.
10. *Savinyh V.P.* Космические исследования как средство формирования карты мира // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 1. – С. 56–62.
11. *Savinyh V.P., Smirnov L.E., Shingareva K.B.* География зарубежных территорий. – М.: Дрофа, 2009. – 252 с.
12. *Savinyh V.P., Cvetkov V.Ya.* Геоданные как системный информационный ресурс // Вестник Российской Академии наук. – 2014. – Т. 84, № 9. – С. 826–829.
13. *Samsonov T.E.* Мультимасштабные базы геоданных для электронных карт // Пространственные данные. – 2009. – № 4. – С. 46–51.
14. *Smoktij O.I.* Теория переноса излучения и проблемы космической геоинформатики // Труды SPIIRAN. – 2002. – № 1. – С. 223–240.
15. *Tolmachev I.L., Hachumov M.V.* Бинарная классификация на основе варьирования размерности пространства признаков и выбора эффективной метрики // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 2. – С. 3–10.
16. *Trofimov D.M., Kac Ya.G., Sonin I.I.* Некоторые вопросы геологической информативности космических снимков // Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. – М.: ВINITI, 1976. – С. 287–292.

17. *Cvetkov V.Ya.* Analiz primeneniya kosmicheskogo monitoringa // Perspektivy nauki i obrazovaniya. – 2015. – № 3. – S. 48–55.
18. *Cvetkov V.Ya.* Dihotomicheskij analiz slozhnosti sistemy // Perspektivy nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 2. – S. 15–20.
19. *Cvetkov V.Ya.* Informatizaciya, innovacionnye processy i geoinformacionnye tekhnologii // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos”emka. – 2006. – № 4. – S. 112–118.
20. *Cvetkov V.Ya.* Proektirovanie struktur dannyh i bazy dannyh. – M.: Moskovskij gosudarstvennyj universitet geodezii i kartografii, 1997. – 90 s.
21. *Shajtura S.V.* Informacionnaya situaciya v geoinformatike // Obrazovatel’nye resursy i tekhnologii. – 2016. – № 5 (17). – S. 103–108.
22. *Shojdin S.A.* Informacionnaya emkost’ gologramm v prakticheskikh primenenyah // Geo-Sibir’. – 2006. – T. 4. – S. 52–54.
23. *Bondur V.G., Tsvetkov V.Ya.* New Scientific Direction of Space Geoinformatics // European Journal of Technology and Design. – 2015. – No. 4 (10). – P. 118–126.
24. *Hill L.L.* Georeferencing: the geographic association of Information. – Cambridge: Massachusetts Institut of Technology, 2009. – 272 p.
25. *Morimune K.* Comparisons of normal and logistic models in the bivariate dichotomous analysis // Econometrica: Journal of the Econometric Society. – 1979. – P. 957–975.
26. *Wei L.Y.* Tile-based texture mapping on graphics hardware // Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS conference on Graphics hardware. – ACM, 2004. – P. 55–63.