

УДК 004.9

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАНДАРТА ITSGIS ПО КАЧЕСТВУ ФУНКЦИОНАЛА, КОМПЛЕКСНОЙ ДИСЛОКАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕООБЪЕКТОВ

© 2018 В.В. Елизаров, Н.А. Остроглазов, Е.В. Чекина, А.И. Чугунов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 12.12.2018

Математическая модель, лежащая в основе интеллектуальной транспортной геоинформационной системы «ITSGIS», построена по принципам объектно-ориентированного проектирования, описания семантики физических объектов различной природы с их геолокацией и взаимодействий между ними. При наличии нескольких подразделений и рабочих мест – пользователей ITSGIS, использование локальной сети и распределенный характер системы практически неизбежны, остальные же моменты определяются в зависимости от территориальной организации предприятия и интенсивности обмена информацией между территориально распределенными подразделениями. В среде ITSGIS решена проблема взаимодействия пользователя с различными типами баз данных введением в ITSGIS третьего слоя – правил бизнес-логики. Вынесение правил бизнеса в отдельный слой позволило отделить от конкретных реализаций логическую структуру данных – правила допустимости операций в ITSGIS. Логический контроль – это и ссылочная целостность – отслеживание действий с пространственно-координированными данными при изменении или удалении записи в основных данных, и синхронизированность географических и семантических данных, контроль семантической корректности вводимых данных с контролем визуализации и дислокации геообъектов на электронной карте. Введение слоя правил бизнеса решает проблему информационного взаимодействия распределенных пользователей ITSGIS. Трехслойная архитектура ITSGIS обеспечивает логическую целостность системы, объединяющей несколько баз данных и несколько приложений. Функционирование сервера приложений регламентируется стандартом визуализации и дислокации геообъектов на соответствующих тематических слоях электронной карты ITSGIS. Основными документами, регламентирующими процесс сертификации визуализации и дислокации геообъектов, являются Стандарты ITSGIS, разработанные на основе ГОСТов РФ, руководства по сертификации и надзору за визуализацией многотипных геообъектов, применяемые независимой инспекцией при оценке и контроле качества функционирования ITSGIS. В документах собраны типовые протоколы оценки функций системы качества, применяемые при обследовании серийного производства электронных карт с тематическими слоями. Каждый из Стандартов ITSGIS описывает сложноорганизованную предикатную функцию, выполнение которой определяется комплексом условий различного характера. Построены модели Стандартов геообъектов ITSGIS, Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации геообъектов, модели плагина интеллектуального контроля качества производства тематических слоев электронной карты ITSGIS.

Ключевые слова: математическая модель, стандарт ITSGIS, геообъекты, качество функционала, качество комплексной дислокации, качество визуализации геообъектов, объекты инфраструктуры.

В настоящее время во многих развитых странах стоит задача оптимальной организации дорожного движения. Постоянно увеличивающийся транспортный поток требует все большей пропускной способности дорог, и привел к значительному повышению объемов движения и транспортным заторам. Диспропорция в темпах развития улично-дорожной сети и темпах роста количества автотранспорта приводит к ухудше-

нию условий движения, транспортным задержкам, социальному дискомфорту, ухудшению экологической обстановки и перерасходу топлива. Несовершенная организация движения приводит к значительному снижению уровня безопасности, повышая вероятность возникновения ДТП до 30 %. Радикальное решение этих проблем может быть найдено путем расширения улично-дорожной сети. Но этот вариант требует чрезмерно больших капитальных вложений. Единственно приемлемой альтернативой сегодня являются действия, направленные на более эффективное использование существующей сети для оптимизации транспортных процессов [1, 2]. Основными задачами являются контроль, надзор и разрешительные функции в области организации и обеспечения безопасности дорожного движения. В ходе анализа выяв-

Елизаров Владислав Вадимович, магистрант кафедры информационных систем и технологий.

Остроглазов Никита Александрович, аспирант кафедры информационных систем и технологий.

E-mail: ameize@mail.ru

Чекина Елена Владимировна, магистрант кафедры организации и управления перевозками на транспорте.

Чугунов Александр Игоревич, аспирант кафедры организации и управления перевозками на транспорте.

лены следующие проблемы:

- Недостаточно проработаны вопросы обработки и анализа регулярно поступающей информации о транспортных и пешеходных потоках, что затрудняет принятие оптимальных и экономически обоснованных решений.
- Используются неэффективные методы работы с информацией. Заполнение множества документов, сбор и передача статистической информации производится вручную по «бумажной технологии».
- Не реализуется комплексный подход к проектированию и внедрению проектов организации дорожного движения.

В этой связи актуальной является задача разработки и реализации интеллектуальной транспортной геоинформационной системы «ITSGIS». Использование ITSGIS в качестве основы комплексного управления транспортной инфраструктурой позволяет существенно облегчить процесс наполнения баз данных (БД), визуализацию объектов, проведение топологического анализа, автоматизированное принятие оптимальных и экономически обоснованных решений. ITSGIS объединяет операции работы с БД, такие как запрос и статистический анализ с преимуществами полноценной визуализации и пространственного анализа, которые предоставляет обычная географическая электронная карта [3, 4].

Трехслойная архитектура клиент-сервер

Математическая модель, лежащая в основе системы «ITSGIS», построена с использованием принципов объектно-ориентированного проектирования (ООП), описания физических объектов различной природы и взаимодействий между ними [5, 6, 7, 8].

При наличии нескольких подразделений и рабочих мест – пользователей ITSGIS, использование локальной сети и распределенный характер системы практически неизбежны, остальные же моменты определяются в зависимости от территориальной организации предприятия и интенсивности обмена информацией между территориально разнесенными подразделениями.

Вместе с тем, уже первые попытки реализовать рецентрализацию на практике породили проблему преобразования данных при переходе от одной БД к другой. Проблема взаимодействия пользователя с несколькими БД одновременно решена введением в ITSGIS третьего слоя – правил бизнеса (бизнес-логики). Вынесение правил бизнеса в отдельный слой позволило отделить от конкретных реализаций логическую структуру данных – правила допустимости операций в ITSGIS, как с точки зрения любого ее компонента, так и с точки зрения ITSGIS в целом [9]. Логи-

ческий контроль понимается в широком смысле: это и ссылочная целостность (отслеживание действий с подчиненными данными при изменении или удалении записи в основных данных), и синхронизированность географических и семантических данных (например, при удалении геообъекта на карте должны быть удалены и его семантические данные), контроль семантической корректности вводимых данных с контролем визуализации и дислокации геообъектов. Введение слоя правил бизнеса решает еще одну проблему – информационного взаимодействия распределенных пользователей ITSGIS.

Таким образом, трехслойная архитектура позволяет обеспечить логическую целостность ITSGIS, объединяющей несколько баз данных и несколько приложений. Реализация логической целостности возлагается на особый слой архитектуры приложения – слой правил бизнеса на основе паттернов проектирования сложноорганизованных систем [10, 11, 12].

Рецентрализованная ITSGIS на основе стандартизованного набора клиентских программ предлагает создание распределенного комплекса плагинов, совместно работающих с несколькими серверами БД. В данной рецентрализованной системе реализована задача построения клиентских программ на основе стандартизованного набора средств программирования, доступа к БД и построения пользовательского интерфейса.

Набор клиентских плагинов ITSGIS позволяет с минимальными изменениями перенастраивать систему на любой сервер БД. Трехслойная архитектура ITSGIS предлагает в качестве основы построения клиент-серверной модели. Клиентская часть обеспечивает средства взаимодействия ядра ITSGIS и ее пользователей. Серверная – организует централизованное хранение данных, поступающих из клиентских компонент, выдает определенным образом организованные данные по запросам клиентской части, а также обеспечивает целостность и непротиворечивость данных.

Архитектура ITSGIS

ITSGIS состоит из следующих частей [13].

1. Ядро ITSGIS, являющееся комплексом программных средств, служащих основой для построения подсистем. Ядро включает следующие компоненты:

- единое хранилище семантических данных на основе СУБД MS SQL Server;
- оцифрованные карты населенных пунктов, на которые нанесены геообъекты различных инфраструктур (архитектура, транспортная, коммунальное хозяйство, туристическая, социальная, образовательная и др.);

- сервер приложений (GaiAppServer);
- редактор геометрий геообъектов;
- модуль репликации данных;
- административный модуль.

2. Подсистемы, решающие специализированные задачи [14]:

- реестр геообъектов, георедактор реестра и подсистема мониторинга состояния геообъектов;
- подсистема мониторинга оперативной информации;
- подсистема генерации сводных отчетов, XML шаблоны отчетов;
- подсистема автоматизированной дислокации геообъектов;
- подсистема моделирования распределения транспортных потоков;
- подсистема расчета параметров локального управления транспортными потоками на перекрестках;
- подсистема координированного управления транспортными потоками;
- подсистема определения всевозможных путей на транспортной сети.

Сервер приложений – это многокомпонентная система, реализованная как набор СОМ-объектов. Основные СОМ-объекты бизнес-уровня системы.

- Компоненты, отвечающие за функциональность всей системы. Приложения-клиенты имеют доступ только к интерфейсу GaiAppServer, а прямой доступ к БД и ГИС невозможен. Кроме того, сам GaiAppServer тоже не имеет прямого доступа к уровню хранения данных, взаимодействуя с СУБД\ГИС посредством промежуточных интерфейсов (IDB\IMAP, соответственно). Такая организация системы позволяет полноценно использовать преимущество многоуровневой архитектуру.

- Компонент, предоставляющий интерфейс доступа к СУБД (через MS ADO).

- Компонент, предоставляющий интерфейс доступа к ГИС. Доступ от этого компонента к ГИС также осуществляется через DCOM\COM интерфейс.

Модуль репликации данных отвечает за процедуру обмена информацией с территориально удаленными базами данных, не имеющих доступ к центральной системе (например, репликация изменений пространственных данных).

Административный модуль отвечает за настройку конфигурации системы, управление системой авторизации (добавление, удаление пользователя, изменения уровня доступа), обеспечения доступа к служебно-технической информации (система регистрации доступа\изменения критических данных).

Стандарт визуализации и дислокации геообъектов

Функционирование сервера приложений регламентируется стандартом визуализации и дислокации геообъектов на соответствующих тематических слоях электронной карты ITSGIS.

Основными документами, регламентирующими процесс сертификации визуализации и дислокации геообъектов, являются Стандарты ITSGIS, разработанные на основе ГОСТов РФ, руководства по сертификации и надзору за визуализацией многотипных геообъектов, применяемые независимой инспекцией при оценке и контроле качества функционирования ITSGIS [16, 17]. В этих документах собраны типовые протоколы оценки функций системы качества, применяемые при обследовании серийного производства электронных карт с тематическими слоями.

Каждый из Стандартов ITSGIS фактически описывает сложную предикатную функцию, выполнение которой определяется комплексом условий различного характера. Среди этих условий можно выделить такие, как

- наличие организационных и технических средств контроля и управления качеством продукции;
- наличие в структуре тематических слоев всех необходимых подразделений слоев;
- наличие во всех подразделениях слоев полного комплекта необходимой документации и выполнение ее требований;
- полное и своевременное обеспечение всех этапов разработки тематических слоев и наполнения геообъектами с заполнением геопозиций и семантических данных;
- налаженное взаимодействие всех структур тематических слоев и обеспечение их связанной (пространственно-координированной) работы;
- соответствие квалификации комплексного наполнения тематических слоев уровню выполняемых работ;
- организация и проведение плановых мероприятий по обеспечению необходимого качества тематических слоев электронной карты.

Все условия, определяющие значение каждой из предикатных функций Стандартов геообъектов ITSGIS, образуют иерархическую структуру – «дерево качества геообъектов». На этапе математического моделирования системы качества тематических слоев этот факт позволяет формально рассматривать Стандарт геообъектов ITSGIS, как множество условий, с заданным на нем отношением частичного порядка.

В отличие от Стандартов геообъектов ITSGIS, которые используются внешними контролирующими органами и имеют общий декларативный характер, Стандарт ITSGIS по качеству функци-

онала и комплексной дислокации геообъектов, разработанный службой по качеству, опирается на стандарты предприятия-разработчика, которые реализуют предписания Стандартов геообъектов ITSGIS на данном конкретном производстве тематических слоев ITSGIS. Аналогично Стандартам геообъектов ITSGIS Стандарт ITSGIS по качеству функционала также имеет иерархическую структуру - «дерево качества функционала».

В связи с этим, одной из основных задач построения плагина интеллектуального контроля качества производства тематических слоев является установление связей между Стандартом геообъектов ITSGIS и Стандартом ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации. В терминах математической модели эту задачу можно сформулировать как построение отображения $F: Q \rightarrow Z$ множества Q условий дерева качества геообъектов в множество Z их реализаций – дерева качества функционала. Построение такого отображения позволит проанализировать систему качества разработки электронной карты с целью:

- выявления элементов Стандарта геообъектов ITSGIS, не учтенных в Стандарте ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации;
- выявления элементов Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации, не задействованных в реализации требований Стандарта геообъектов ITSGIS (проверка отображения F на сюръективность);
- оптимизации Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации для ее максимального соответствия требованиям Стандарта геообъектов ITSGIS.

Третьей важнейшей составляющей комплексной математической модели плагина интеллектуального контроля качества производства тематических слоев, наряду со Стандартом геообъектов ITSGIS и Стандартом ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации, является организационная структура тематических слоев электронной карты. Организационная структура тематических слоев электронной карты представляется множеством S структурных подразделений, иерархия которых задает отношение частичного порядка на этом множестве и формирует «дерево тематических слоев».

Построение отображения $G: Z \rightarrow S$ множества Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации в множество организационной структуры тематических слоев электронной карты является второй основной задачей, решаемой при построении комплексной математической модели плагина качества. Сформированное отображение G , устанавливающее связь между элементами руководства по

качеству электронной карты и элементами ее организационной структуры, позволит решать следующие актуальные задачи:

- выявление элементов Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации, не «обслуживаемых» ни одним из подразделений организационной структуры тематических слоев электронной карты;
- выявление подразделений организационной структуры тематических слоев электронной карты, не задействованных в реализации Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации (проверка отображения G на сюръективность);
- выявление подразделений организационной структуры тематических слоев электронной карты, «перегруженных обязанностями» по реализации Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации;
- оптимизация (реорганизация) организационной структуры тематических слоев электронной карты с целью выполнения требований Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации в полном объеме.

Последним ключевым элементом математической модели является процесс производства, представленный множеством P технологической и конструкторской документации на семантику геообъектов электронной карты, производимых и дислоцируемых в ITSGIS. На практике множество P представлено единой базой данных геообъектов. Решение задачи построения отображения $H: S \rightarrow P$ и на его основе композиции отображений $HG: Z \rightarrow P$ позволит «замкнуть» связь между системой интеллектуального контроля качества производства тематических слоев Z и процессом производства P , что даст возможность управлять качеством продукции и всех этапов производственного процесса через систему качества ITSGIS.

Таким образом, обобщенная математическая модель M плагина интеллектуального контроля качества производства тематических слоев представляется семеркой объектов $M = \{Q, Z, S, P, F, G, H\}$, где Q – множество требований Стандарта геообъектов ITSGIS, Z – множество положений интеллектуального контроля качества производства тематических слоев, S – организационная структура ITSGIS и P – процесс производства. Отображения $F: Q \rightarrow Z$, $G: Z \rightarrow S$, $H: S \rightarrow P$ и композиции $GF: Q \rightarrow S$, $HG: Z \rightarrow P$ позволят установить соответствие требований Стандарта геообъектов ITSGIS с организационной структурой тематических слоев ITSGIS и выпускаемой продукцией через собственную систему качества ITSGIS - Стандарта ITSGIS по качеству функционала и комплексной дислокации.

Такой подход позволит с минимальными затратами анализировать различные аспекты ор-

ганизации контроля качества на производстве с целью сделать этот контроль адекватно отвечающим современным требованиям к качеству высокотехнологичной продукции.

Техническая реализация построенной математической модели подразумевает решение основных задач:

- формализация нормативной документации по качеству (построение семерки объектов, задающих математическую модель M);
- проектирование структур данных для хранения элементов математической модели и разработка алгоритмов ее анализа;
- внедрение плагина интеллектуального контроля качества производства тематических слоев в работу всех плагинов ITSGIS при централизованном хранении информационных массивов.

В настоящий момент плагин интеллектуального контроля качества производства тематических слоев разрабатывается в среде интеллектуальной транспортной геоинформационной системы ITSGIS. В силу универсальности многих решений [17], планируется распространение накопленного опыта на разработку новых тематических слоев для муниципальных образований Российской Федерации и стран СНГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Михеев, С.В.* Диагностика состояния транспортной инфраструктуры с использованием нейронных сетей [Электронный ресурс] / С.В. Михеев, А.В. Сидоров, А.А. Осьмушин // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – URL : www.science-education.ru/113-11807.
2. *Золотовицкий А.В., Михеева Т.И.* Применение теории графов в задачах управления дорожным движением // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Сер. «Актуальные проблемы радиоэлектроники» - Самара: СГАУ, - 2003. С. 20 - 24.
3. *Михеев С.В., Головнин О.К., Щербаков А.Д.* Технология построения графа улично-дорожной сети в геоинформационной системе / Перспективные информационные технологии (ПИТ-2013) //Труды между. научно-техн. конф. – Самара: Изд-во Самарск. науч. центра РАН, 2013. – С.227-230.
4. Обмен информацией V2I в геоинформационной транспортной системе в условиях критических ситуаций / *С.В. Михеев, А.А. Осьмушин, О.К. Головнин* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 4 (2). – С. 399–403.
5. *Буч Г.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++ / Пер. с англ. – СПб.: Невский диалект, 1999. – 560 с.
6. *Grenander, U.* General Pattern Theory. Oxford University Press, 1993.–904 p.
7. *Михеева Т.И.* Data Mining в геоинформационных технологиях // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки» №41. Самара: СамГТУ, 2006. С.96–99.
8. *Михеева Т.И., Михеенков И.Е.* Программная таксономия – основа для создания гипермедийных обучающих систем // Информационные технологии, 1998. №8. С. 40–43.
9. *Михеева Т.И.* Инструментальная среда для проектирования объектов интеллектуальной транспортной системы // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки» №40. Самара: СамГТУ, 2006. С.96–103.
10. *Кузьмич, Р.И.* Модификация целевой функции при построении паттернов для увеличения различности правил в модели классификации / Р.И. Кузьмич, И.С. Масич // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 2 (56). – С. 14 – 17.
11. *Ковалев, С.М.* Оперативное детектирование темпоральных паттернов в секвенциальных данных / С.М. Ковалев, А.В. Муравский // Известия Южного федерального университета. Серия : Технические науки. – 2012. – № 7 (132). – С. 106 – 113.
12. *Норенков, И.П.* Поддержка принятия решений на основе паттернов проектирования [Электронный ресурс] / И.П. Норенков, М.Ю. Уваров // Наука и образование. – 2011. – № 9. – Режим доступа : <http://technomag.edu.ru/doc/228646.html>.
13. *Михеева Т.И., Михеев С.В., Головнин О.К., Сапрыкин О.Н.* Паттерны проектирования сложноорганизованных систем. – Самара : Интелтранс, 2015. – 216 с.
14. Интеллектуальная транспортная геоинформационная система ITSGIS. Плагины / *Т.И. Михеева, С.В. Михеев, О.К. Головнин, А.В. Сидоров, Е.А. Савинов, В.А. Ключников, Д.А. Алтухов, Н.А. Остроглазов, А.Н. Имамутдинов.* – Самара : Интелтранс, 2016. – Т.2. – 217 с. Михеева, Т.И. Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем / Т.И. Михеева. – Самара : Самар. науч. центр РАН, 2010. – 380 с.
15. *Михеева Т.И., Елизаров В.В., Михеев С.В.* Системный анализ формирования стандарта дислокации геообъектов на тематических слоях карты// Перспективные информационные технологии (ПИТ-2018) : труды Международной научно-технической конференции (Самара, 14–16 апреля 2018 г.). – Электрон. текстовые и граф. дан. (34,4 Мбайт). – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2018. С. 848 –856.
16. *Михеева Т.И., Елизаров В.В., Михеев С.В.* Стандартизация дислокации геообъектов в среде интеллектуальной транспортной геоинформационной системы / Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей. - Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2018. – С. 154- 160.
17. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии. М., Финансы и статистика, 1998. -288 с.

A MATHEMATICAL MODEL OF THE STANDARD ITSGIS QUALITY FUNCTIONAL DEPLOYMENT AND INTEGRATED VISUALIZATION GEOOBJECTS

© 2018 V.V. Elizarov, N.A. Ostroglazov, E.V. Chekina, A.I. Chugunov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The mathematical model underlying the intelligent transport geographic information system “ITSGIS” is based on the principles of object-oriented design, description of the semantics of physical objects of different nature with their geolocation and interactions between them. In the presence of several divisions and workplaces – ITSGIS users, the use of a local network and the distributed nature of the system are almost inevitable, the remaining moments are determined depending on the territorial organization of the enterprise and the intensity of information exchange between geographically distributed divisions. In the ITSGIS environment, the problem of user interaction with different types of databases is solved by introducing the third layer – business logic rules-into ITSGIS. The imposition of business rules into a separate layer allowed to separate from specific implementations of a logical data structure – the rules of the admissibility of operations in ITSGIS. Logical control - is referential integrity-tracking actions with spatially coordinated data when changing or deleting records in the master data, and the synchronization of geographical and semantic data, control of semantic correctness of the input data with the control of visualization and location of geoobjects on the electronic map. The introduction of the business rules layer solves the problem of information interaction among distributed ITSGIS users. The three-layer ITSGIS architecture provides the logical integrity of a system that combines multiple databases and multiple applications. The functioning of the application server is regulated by the standard of visualization and dislocation of geoobjects on the relevant thematic layers of the ITSGIS electronic map. The main documents regulating the certification process of visualization and deployment geoobjects are Standards ITSGIS developed on the basis of state Standards of the Russian Federation, guidance for certification and surveillance imaging multitype geoobjects used an independent inspector to evaluate and monitor the quality of functioning ITSGIS. The documents collected standard protocols for assessing the functions of the quality system used in the survey of mass production of electronic maps with thematic layers. Each of THE ITSGIS Standards describes a complex predicate function, the performance of which is determined by a set of conditions of different nature. The constructed model Standards geoobjects ITSGIS, Standard ITSGIS quality functional and integrated deployment geoobjects, models of plug-in intelligent quality control of the production of thematic layers of electronic maps ITSGIS.

Keywords: mathematical model, standard ITSGIS, geoobject, the functional quality, the quality of the complex dislocation, the visual quality geoobjects, infrastructure.

Vladislav Elizarov, Master Student of the Department of Information Systems and Technologies.

Nikita Ostroglazov, Graduate Student of the Department of Information Systems and Technologies.

E-mail: ameize@mail.ru

Elena Chekina, Master Student of the Department of Transport Organization and Management.

Alexander Chugunov, Graduate Student of the Department of Transport Organization and Management.