

**Заставной Дмитрий Александрович**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет».

E-mail: pilidi@math.sfedu.ru.

344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Мильчакова, 8а.

Тел.: +78632975111; факс: +78632975113.

Кафедра информатики и вычислительного эксперимента; к.т.н.; ассистент.

**Zastavnoy Dmitry Aleksandrovich**

Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education "Southern Federal University".

E-mail: pilidi@math.sfedu.ru.

8a, Milchakova Street, Rostov-on-the-Don, 344090, Russia.

Phone: +78632975111; fax: +78632975113.

The Department of Informatics and Computing Experiment; Cand. of Eng. Sc.; Assistant.

УДК 004.932.72'1

**М.С. Соколов**

**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА В МГИС**

*Статья посвящена вопросам автоматизации решения задач городского хозяйства. Дано определение роли муниципальных и геоинформационных систем в составе единой информационной системы управления муниципалитетом. Сформулировано обоснование необходимости наличия конкретно двух этих подсистем и обосновано разграничение в обслуживании типов информации. Рассмотрен подход к применению топологических отношений при выполнении группового пространственного анализа картографических объектов. Предложено ввести понятие массива из матриц топологических отношений, хранящих взаимосвязи между объектами. Это описание позволяет выполнять быстрый отбор картографических объектов в соответствии с заданными пользователем правилами.*

*Топологическое отношение; муниципальная геоинформационная система; матрица топологических отношений; правило отбора; картографический объект.*

**M.S. Sokolov**

**APPLICATION OF THE TOPOLOGICAL ANALYSIS ALGORITHM  
AT THE DECISION OF MUNICIPAL ECONOMY PROBLEMS IN MGIS**

*Article is devoted questions of automation for the decision of municipal economy problems. Definition of a role of municipal and geoinformation systems as a part of a uniform information control system of municipality is made. The substantiation of presence necessity two these subsystems is formulated and differentiation in service of types of the information is proved. The approach to application of topological relations is considered at performance of the group spatial analysis of cartographical objects. It is offered to enter concept of a file from matrixes of the topological relations storing interrelations between objects. This description allows to carry out fast selection of cartographical objects according to the rules set by the user.*

*The topological relation; municipal geoinformation systems; matrix of topological relations; selection rule; cartographical object.*

Современные геоинформационные (ГИС) технологии находят применение в самых различных сферах деятельности человека, как в связи с его профессиональными потребностями в пространственной информации, так и познавательными потребностями [1,2].

Интеграция геоинформационных и муниципальных информационных систем (МИС) является важной задачей, поскольку от нее зависит эффективность принятия решений в управлении городским хозяйством. При рассмотрении ГИС как электронной службы тематических атласов, содержащих большой комплекс взаимосвязанной графической информации, появляется возможность группового пространственного анализа содержащихся в них объектов. Например, проанализировать все строения, которые могут оказаться в опасной зоне расположения химического завода, найти все земельные участки, соседствующие или находящиеся на определенном расстоянии от заданного объекта.

Под муниципальной геоинформационной системой (МГИС) следует понимать совокупность программных систем, предназначенных для доступа к муниципальной информации, как атрибутивной, так и пространственной, причем зачастую требуется принципиальная возможность комплексного и эффективного доступа, которая является конечной целью при обеспечении принятия управленческих решений.

Эффективность в данном случае следует понимать как скорость получения требуемых сведений, так и их точность, а для атрибутивных данных, относящихся к конкретному муниципальному объекту, представление их в максимально полной и доступной форме.

При этом уровень сложности картографической информации довольно высок, что значительно усложняет анализ пространственной информации без использования специальных средств:

- 1) имеется большой объем распределенных по слоям объектов;
- 2) в результате оверлея информация из разных слоев представляется комплексно в наложенном друг на друга виде, что зачастую приводит к громоздким вариантам отображения;
- 3) для пространственного анализа часто важна информация как можно большего числа слоев, таким образом, поочередное отключение тех или иных слоев не является правильным подходом к решению вышеуказанной задачи.

В свою очередь для каждого муниципального объекта имеется свой набор сложно-структурированных атрибутивных данных, обслуживание которых непосредственно программным обеспечением ГИС либо невозможно, либо нецелесообразно в виду больших затрат, которые все равно не приведут к созданию удобного доступа к этим данным.

Именно поэтому обслуживание семантической информации должна взять на себя МИС, а ГИС следует рассматривать как расширенную картографическую подсистему, решающую задачу эффективного доступа к пространственной информации. Совокупность этих двух подсистем можно назвать термином МГИС.

То есть, работая с муниципальной базой данных, лицо принимающее решение, должно иметь возможность легкого перехода к электронной карте. И наоборот, проведя картографический анализ, лицу, принимающему решения (ЛПР), необходимо иметь возможность для сформированного набора картографических объектов, получить всю интересующую его семантическую информацию в доступной форме.

Задача доступа к муниципальной информации может решаться несколькими путями:

- 1) непосредственный доступ к ГИС и МИС, при этом данные этих подсистем выбираются по отдельности;
- 2) связанная работа – отбирая пространственные объекты, ЛПР может при желании получить любую связанную с ними атрибутику из МИС, и соответственно наоборот (найти интересующую его семантику и показать связанные с ней объекты на карте);

- 3) работа с пространственной информацией на основе топологических запросов, позволяющих организовать быстрый поиск требуемых объектов по заданным правилам, с последующим переходом к связанной атрибутивной информации, хранящейся в МИС.

Очевидно, что перечисленные выше пункты являются взаимосвязанными. Так, для непосредственной работы с базой данных характерно влияние на скорость работы особенностей SQL-кода, представляющего доступ к сложно-структурированной информации. Для обособленной работы в ГИС скорость отбора объектов будет характеризоваться алгоритмом отбора. Для связанной работы мы имеем взаимное влияние перечисленных выше факторов. При этом одним из аспектов, влияющих на эффективность принятия решений, оператором, работающим с ГИС-подсистемой, остается скорость поиска нужных ему картографических объектов. Поскольку, делая обоснованный вывод о целесообразности того или иного решения, практически всегда основываются на некоторой совокупности значимых параметров, которыми и являются отобранные объекты и их атрибутика.

То есть поиск муниципальной информации носит итеративный характер, и эффективность работы каждого шага в конечном итоге влияет на общую продолжительность выборки данных, а в конечном итоге и на эффективность принимаемых управленческих решений.

Работая с картой и отбирая нужные элементы, у пользователя появляется возможность сразу получить целостный спектр связанных атрибутивных данных, не проводя полного поиска по всей базе данных (БД), которая в случае муниципалитета имеет очень большой объем записей таблиц.

От того, насколько быстро организуется выборка данных, зависит качество принятия решений, таким образом необходимо оценить скорость и эффективность работы алгоритмов решения вышеперечисленных задач. Важной подсистемой является реализация метода топологического отбора.

Анализ топологических отношений – это наиболее естественное средство отбора графических объектов, представленных на карте в векторной форме [3].

Предлагаемый алгоритм топологического отбора основан на организации матричного хранения топологической информации, когда матрицы представляют собой слои, образующие куб. Матрицы хранятся в оперативной памяти, что ускоряет поиск информации в них.

Элементами матриц являются бинарные значения, указывающие наличие “1” или отсутствие “0” одного из отношений между объектами, определяемыми порядковыми номерами столбца и строки.

Пространственный запрос формирует выборку из объектов, топологические отношения между которыми удовлетворяют указанному в правиле отбора. Для конкретного класса картографических объектов задается бинарная структура отношений, поэтому в основу пространственного запроса закладываются бинарные операции сравнения.

Исследование алгоритма топологического анализа (рис. 1–6) проводилось на тестовых и реальных городских картах, основное различие между ними состоит в разнообразии как объектов, так и топологических отношений между ними.

Вначале изучалась работа отдельных расчетных топологических процедур – поиск объектов по простым топологическим правилам, поскольку это позволяет выявить наиболее трудоемкие этапы работы алгоритма для тех случаев, когда задается комплексное правило.

Как видно из графиков, рост сложности выполнения носит практически линейный характер, за исключением отбора по матрицам, что связано с отсутствием разнообразия на тестовой карте.

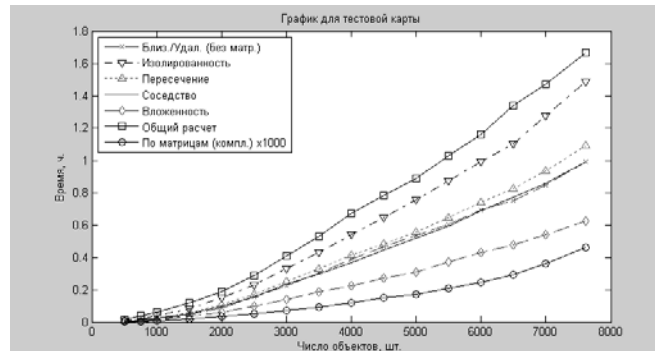


Рис. 1. Алгоритм отбора (отдельные правила, тестовая карта)

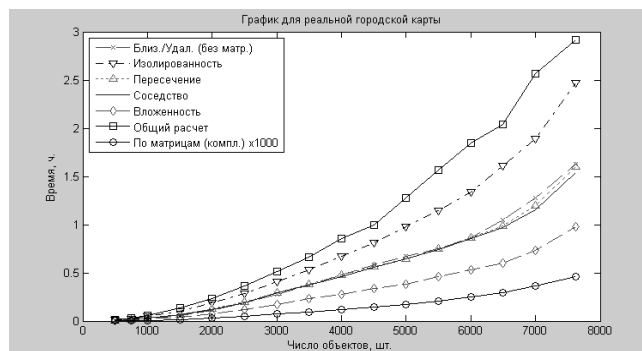


Рис. 2. Алгоритм отбора (отдельные правила, реальная карта)

Как видно из данного рисунка, рост сложности в зависимости от объема не линейный и носит экспоненциальный характер. Это связано со значительным разнообразием в структуре объектов и связей между ними. Этим же объясняется некоторая изломанность кривых роста сложности – на некоторых участках карты, даже содержащих значительное количество объектов, рост этого времени несколько замедляется в сравнении с другими. Это может происходить в связи с простой конфигурацией объектов – число сегментов, взаимное расположение. Обобщая графики, можно указать на тотальное превосходство отбора по матрицам – масштабирование для сопоставимого отображения составило 1 000 раз.

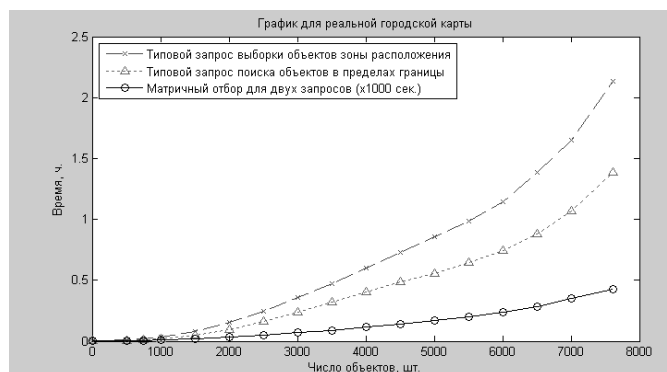


Рис. 3. Алгоритм отбора на типовых запросах, реальная карта

Исследование типовых запросов показало связь времени их выполнения с быстротой расчетов (определения) простых топологических процедур. Результаты аналогичны предыдущим – на тестовых картах сложность близка к линейной, на реальных рост имеет экспоненциальный характер. Матричный отбор имеет схожую конфигурацию во всех случаях, что связано с особенностями сканирования матриц, имеет экспоненциальный характер, однако преимущество по сравнению с обычным методом поиска составляет порядок  $10^3$ , что имеет особенное значение при повторении множества запросов на отбор картографических объектов.

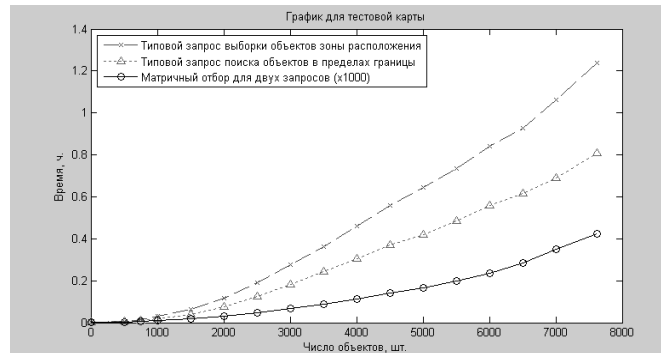


Рис. 4. Алгоритм отбора на типовых запросах, тестовая карта

Обобщенные выводы по графикам:

- 1) типовые запросы на выборку картографических объектов в пределах зоны и в пределах границы работают довольно медленно как на реальной, так и на тестовой карте. Преимущество поиска в пределах границы обуславливается большей простотой определения вложенности, а не удаленности;
- 2) наиболее медленной расчетной процедурой является определение изолированности – именно она вносит наибольший вклад в итоговую расчетную сложность. Это позволяет сделать вывод о необходимости упорядочивания вызовов расчетных топологических процедур для оптимизации времени выполнения;
- 3) оптимален во всех случаях топологический отбор, который использует векторное представление топологических межобъектных отношений на основе предварительно формируемых матриц. Отбор происходит за считанные секунды даже для нескольких тысяч объектов.

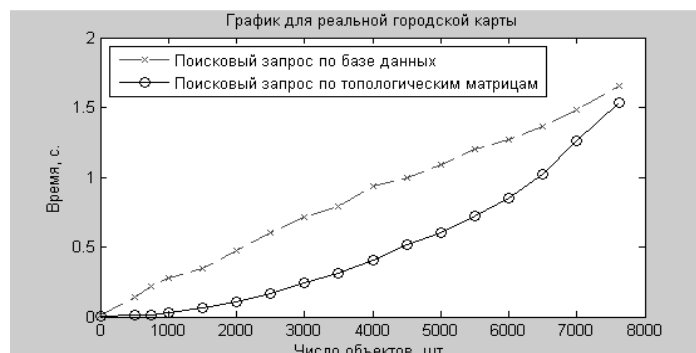


Рис. 5. Исследование поиска объектов на основе топологии и по БД

Информационная модель данных муниципалитета предполагает такую организацию данных об объектах, при которой обеспечивается простота доступа к комплексу атрибутивной информации, а также легкая модификация информационной структуры.

Простота доступа к информации позволяет быстро осуществлять переход от сведений по объекту к его графическому образу и наоборот. Таким образом, важными исследуемыми сторонами алгоритма являются эффективность при выполнении поиска по записям базы данных и проведении расчетов бизнес-логики (арендные начисления).

При исследовании характеристик отбора по БД и по карте, на основе топологических матриц, использовалась реальная городская карта, привязанная к БД муниципалитета.

Как видно из результатов исследования, отбор по базе носит линейный характер, по матрицам – экспоненциальный, однако эффективность обоих методов высока – несколько тысяч объектов отбираются за 1–1,5 секунды. В пределах запроса на выборку 10 000 объектов максимальное ускорение, достигаемое за счет топологического отбора, составляет ~50 %. В дальнейшем несколько более эффективным будет отбор по БД, однако на практике это не скажется слишком сильно (на уровне нескольких секунд).

Конечное решение о том, какой способ предпочтительнее, остается за оператором, однако на практике эффективными будут оба метода, особенно на ранних этапах внедрения МГИС, когда привязка единой цифровой картографической основы и информационной модели на уровне сущностей БД осуществлена не полностью.

Похожий результат получается при исследовании характеристик скорости арендных начислений:

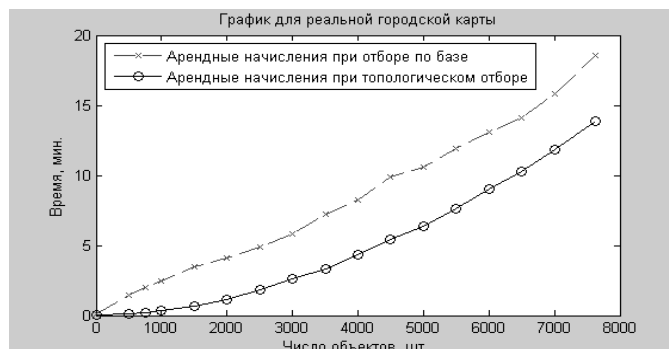


Рис. 6. Сравнение скорости арендных начислений при выборке по базе данных и на основе топологии

Влияние на указанную конфигурацию кривых роста времени выполнения оказывало то, что при выборке по БД на сервер ложилась дополнительная нагрузка – не только выборка записей, но и выполнение начислений, а при топологическом отборе записи БД определялись по привязке к картографическим объектам ГИС, что несколько разгружает сервер. Выигрыш может составлять до 20 %, однако на практике это не столь критично – групповые арендные начисления выполняются с периодичностью раз в месяц, а для повседневной работы редко требуются начисления более чем для десятка объектов.

В результате исследования основных потоков данных в МГИС были выявлены преимущества использования алгоритма топологического отбора в совокупности с реализацией единой информационной модели данных муниципалитета.

Преимущества в использовании алгоритма очевидны при выполнении множества процедур отбора по различным правилам – в этом случае используются однажды сформированные и сохраненные топологические матрицы, скорость сканирования которых не сопоставима со временем выборки объектов из ГИС. Несмотря на оптимальность расчетных топологических процедур, первоначальный этап формирования поисковых матриц является трудоемким – зависимость времени работы от количества объектов является параболической.

Трудоемкость работы алгоритма на первоначальном этапе и высокая потребность в оперативной памяти указывают на необходимость применения технологии, подобной OLAP. При этом можно обеспечить следующие преимущества:

- 1) пользователь сам осуществляет детализацию матриц топологических отношений, выбирая интересующие его классы объектов, которые и формируют итоговые слои куба;
- 2) факты (межобъектные топологические отношения), представленные в многомерном матричном виде, легко обрабатываются как в соответствии с простыми, так и сложными правилами отбора (пространственными запросами на основе бинарных операций сравнения). При этом анализируются бинарные структуры данных;
- 3) учитывая многомерное послойное представление топологической информации, можно говорить о возможности распараллеливания обработки пространственных запросов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрианов Д.Е., Соколов М.С. Использование топологических правил при пространственном анализе картографических объектов // Известия вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53, № 9. – С. 14-19.
2. Соколов М.С., Булаев А.В. Применение топологических отношений при обработке данных муниципальных карт // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сб. статей X Международной научно-практической конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008. – С. 197-200.
3. Садьков С.С., Андрианов Д.Е., Еремеев С.В. Формальное определение топологических отношений между картографическими объектами в ГИС // Обработка информации: методы и системы: Сборник научных статей. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2003. – С. 73-78.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., доцент Д.Е. Андрианов.

#### **Соколов Михаил Сергеевич**

Муромский институт (филиал) государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет».

E-mail: acp-devel2008@yandex.ru.

602252, Владимирская область, г. Муром, ул. Серова, д. 30, кв. 7.

Тел.: +79209045640.

Кафедра информационных систем; аспирант; ассистент.

#### **Sokolov Mikhail Sergeevich**

Murom Institute (branch) of the State Educational Institution of the Higher Vocational Training «Vladimir State University».

E-mail: acp-devel2008@yandex.ru.

30, Serova Street, apt. 7, Murom, Vladimirskaya reg., 602252, Russia.

Phone: +79209045640.

The Department of Information Systems; Postgraduate Student, Assistant.