

Анализ дискретных объектов в пространстве

Цель ГИС не только создание базы данных цифровых представлений географических явлений, но и обеспечение средств выбора, поиска и анализа. Эта глава объясняет методы, доступные для векторных объектов - как они могут быть выбраны из базы данных по их атрибутам, как новые атрибуты могут быть вычислены с использованием правил Булевой логики и математики, чтобы получить полезные группы или классы, или обобщать сложные изображения карты.

Многие из этих процедур не чисто пространственные, потому что они только затрагивают атрибуты, а не размер или форму пространственных объектов, которыми могут быть любые географические примитивы - точки, линии, полигоны или пиксели. Пространственный анализ начинается с определения пространственного включения или исключения и с пересечением линий и полигонов различных видов, чтобы получать новые объекты. Пространственные взаимодействия совсем не ограничены границами существующих объектов, но могут быть расширены, чтобы включить функции окрестности, типа топологической близости или расстояния по сетям дорог и рек.

После сбора данных и формирования пространственной базы данных, следующая задача - как использовать эти данные, чтобы получить информацию о реальном мире. Эта задача решается с использованием широкого диапазона методов манипулирования данными - от простого поиска и отображения к созданию и применению сложных моделей анализа и сравнения различных сценариев планирования.

ГИС обеспечивают много возможностей анализа, которые могут использоваться как в модульных командах, чтобы каждый вид анализа мог быть выполнен отдельно, так и в комплексе с другими командами, чтобы формировать модели для анализа данных.

Пользовательский интерфейс обеспечивает ввод набранных команд, окна с предварительно запрограммированными кнопками или как инструкции, написанные в виде программы.

Пространственный анализ - это больше чем просто ответы на вопросы

Виды аналитических методов, которые могут использоваться для пространственных данных, зависят очень от модели данных и представления, которое использовались. Важно понять, что различные модели данных и различные виды представления могут требовать различных подходов к формулировке пространственных запросов.

Фундаментальный вопрос - относится ли основная модель данных к объектам в пространстве или к непрерывному изменению атрибута в пространстве. В случае объектов, поиск данных и анализ касаются атрибутов, расположения, связей объектов и измерений пути, которым они

распределены в пространстве; в случае непрерывных полей, анализ данных касается пространственных свойств полей. Вопрос становится более сложным, когда непрерывные поля дискретизированы к набору треугольников или правильной сетки, и индивидуальных треугольников или ячеек сетки, которые могут также быть обработаны как индивидуальные объекты.

Эта глава сконцентрирована на методах анализа данных которые являются наиболее полезными, если вы имеете дело с объектами в пространстве, как в реляционной объектно-ориентированной модели.

Основные классы операций для пространственного анализа

В модели конечных объектов в пространстве важны три вида информации, а именно что это?, где - это? и какие его отношения к другим объектам? Характер объекта дается его атрибутами, его местонахождение его географическим расположением или координатами и пространственными отношениями между различными объектами описываются топологией. Аспекты расположения, близости и топологии отличают географические данные от многих других видов данных, которые обычно обрабатываются в информационных системах.

Мы отличаем следующие основные классы параметров анализа данных для объектов:

Операции с атрибутами

- Операции с одним или более атрибутах объекта;
- Операции с одним или более атрибутах множества объектов, перекрывающихся в пространстве;
- Операции с одним или более атрибутах, которые связаны направленными указателями (объектная ориентация);
- Операции с атрибутами объектов, которые содержатся в других объектах (точка в полигоне);

Операции дистанции и положения

- Операции, чтобы расположить объекты относительно расстояния или критериев расположения;
- Операции, чтобы создать буферные зоны вокруг объекта;

Операции, использующие встроенную пространственную топологию

- Операции, чтобы моделировать пространственные взаимодействия по связанной сети.

Все эти операции могут создавать новые атрибуты, которые могут быть приложены к первоначальным объектам, следовательно, увеличивая размера и значения базы данных. Некоторые операции также создают новые пространственные объекты, расширяя базу данных, чтобы включить эти новые элементы. Данные, которые были найдены из базы данных, могут

быть отображены на экране, напечатаны как бумажная карта или записаны как компьютерный файл для будущей обработки.

Операции с атрибутами географических объектов

Атрибуты - свойства объектов, которые определяют, каковы они. Они могут быть разделены на три типа: те, которые относятся к расположению (географические атрибуты широты, долготы и высоты), те, которые просто приложены как качественные или количественные описатели некоторого непространственного свойства и те, которые получены из пространственных свойств объекта непосредственно. Например, атрибуты номера земельного участка, имя владельца и тип покрытия земли описывают непространственные свойства. Длина границ, площадь, очертания - атрибуты, которые получены из формы земельного участка.

Как в обычных информационных системах, новые атрибуты могут быть приложены к объектам как результат операций с базой данных. Например, новый атрибут (или новое значение атрибута) может быть вычислен для земельных участков больших заданного размера, или для тех владельцев недвижимости, которые живут за определенной границей. Для отображения информации, новый атрибут может быть цветом или символом, выбранным, чтобы представить этот вид объекта на карте. Новый атрибут может быть получен любым методом логического и математического анализа, включая операции на близость и топологических свойствах объектов. Простой поиск данных может быть зафиксирован как новый временный "выбранный" атрибут, когда набор атрибутов объекта соответствует критериям поиска.

Процесс выбора или создания новых атрибутов может быть формализован следующим образом. Для любого данного расположения x , значение полученного атрибута U_i задано как:

$$U_i = f(A, B, C, D...)$$

Где $A, B, C...$ - значения атрибутов, оценивающих U_i . Функция $f()$, может быть следующей (по отдельности или в комбинации):

- Логические операции;
- Простые и сложные арифметические операции и численные модели;
- Однофакторный статистический анализ;
- Многофакторные статистические методы или статистика для классификации и выделения;
- Мультикритериальные методы, нейронные сети.

Логические операции на атрибутах одного или более объектов

Когда данные были закодированы в векторной системе, используя оверлей или послойную структуру, тогда все данные относительно конкретного слоя могут быть очень просто найдены, определением названия

слоя. Например, если все дороги находятся в слое 1, железные дороги в слое 2, реки в слое 3 и т.д., то любой отдельный слой или комбинация могут быть легко найдена и отображена.

Поиск данных, используя атрибуты, приложенные к индивидуальным объектам

Объекты могут быть выборочно найдены или переклассифицированы по их атрибутам, используя стандартные правила Булевой алгебры, которые включены в языки базы данных типа SQL. Булевская алгебра использует логические операторы AND, OR, XOR, NOT чтобы определить, является ли специфическое условие истинным или ложным (Блок 7.1). Оператор AND - пересечение двух наборов - те объекты, которые принадлежат и A и B; OR - объединение двух наборов - те объекты, которые принадлежат либо набору A либо B; NOT - оператор различия, идентифицирующий те объекты, которые принадлежат A, но не B, и XOR исключительно OR, или набор объектов, которые принадлежат одному набору или другому, но не обоим. Эти простые отношения набора часто изображаются визуально в.

Обратите внимание, что логические операции могут применяться ко всем типам данных, быть они Булевские, номинальными, порядковыми или скалярными.

Вкладка 7-1. Математические операции преобразования атрибутов

1. Логические операции.

Правда или ложность (0 или 1) результат *из объединения* (логическое OR), *пересечения* (логическое AND), *отрицания* (логическое NOT) и *исключения* (логическое OR-XOR) двух или более наборов.

2. Арифметические операции.

Новый атрибут - результат сложения (+), вычитания (-), умножения (*), деления (/), возведения в степень (exp), логарифмирования (ln - натуральный, log - ДЕСЯТИЧНЫЙ, квадратный корень).

3. Тригонометрические операции.

Новый атрибут - синус, косинус, тангенс или их инверсия (arcsin, arccos, arctan), или преобразование из градусов в радианы.

4. Операции типов данных.

Новый атрибут - первоначальный атрибут, выраженный как другой тип данных (булевский, номинальный, порядковый, направленный, целочисленный, реальный или топологический тип данных).

5. Статистические операции.

Новый атрибут - *среднее, мода, медиана, среднеквадратичное отклонение, дисперсия, минимум, максимум, диапазон, асимметрия* и т.д. данного атрибута, представленного *n* объектами.

6. Мультивариантные операции

Новый атрибут вычислен моделью множественной регрессии. Новый атрибут вычислен числовой моделью физического процесса. Новый атрибут вычислен факторным анализом, корреляционным анализа многовариантных данных. Объекту присваивается класс (новый атрибут = имя класса). Объекту назначается вероятность (основанная на статистическом возможности) дискриминантным анализом или методами, принадлежности данному набору.

Два простых примера иллюстрируют принципы. Рассмотрите сначала пространственную базу данных, используемую агентом по недвижимости. Типичный запрос поиска от предполагаемого покупателя следующий: "Пожалуйста покажите мне расположения всех зданий, ценой между 2000000 и 3000000 с 4 спальнями и площадью по крайней мере 300 м²". Если набор данных содержит атрибуты «стоимость», «число спален», «площадь» и расположение, то карта пригодных помещений легко может быть получена множественным запросом AND по указанным атрибутам, чтобы высветить графики соответствия:

IF стоимость > 2000000 AND стоимость < 3000000 AND N спален = 4 AND площадь > 300 THEN ITEM = 1 ELSE ITEM = 0

Выбранным объектам дают значение Булевское 1 (истина), если они соответствуют спецификациям, и 0 (ложь), если нет. Отображение результатов следует назначением нового цвета к объектам с ITEM = 1.

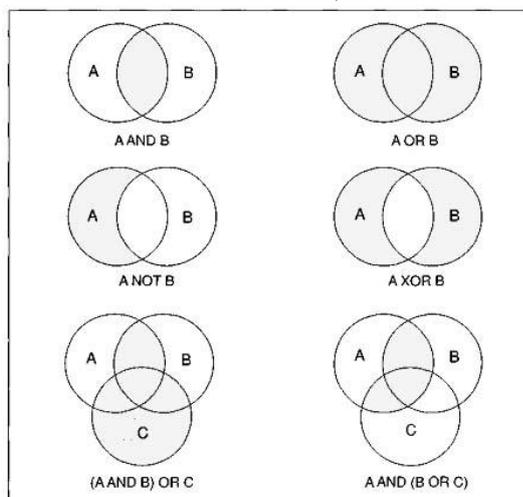


Рис. 7.2. Диаграммы Венна изображают результат применения Булевской логики к объединению и пересечению двух или более наборов. В каждом случае затененные зоны "истинны"

Теперь рассмотрим запрос в классификации пригодности земли. В базе данных типов почв каждый картируемый тип может иметь атрибуты, описывающие структуру и рН почвы. Если набор A - набор отображения подзолов (номинальный тип данных), и если B - набор типов, для которых

pH равняется или превышает 7,0 (скалярный тип данных), то поиск данных идет следующим образом:

$X = A \text{ AND } B$ находит все местонахождения подзолов с $pH \geq 7.0$.

$X = A \text{ OR } B$ находит все местонахождения подзолов и всех других типов с $pH \geq 7.0$.

$X = A \text{ XOR } B$ находит все типы, которые являются или подзолами, или имеют $pH \geq 7.0$, но не в комбинации.

$X = A \text{ NOT } B$ находит все типы, которые являются подзолами, где pH - меньше чем 7.0.

Выбранные объекты могут также быть переименованы и/или им можно дать новый символ изображения.

Обратите внимание, что в отличие от арифметических операций, операции логические - не коммутативны. Результат $A \text{ AND } B \text{ OR } C$ зависит от приоритета AND относительно OR. Обычно используются круглые скобки, чтобы указать порядок оценки, если есть больше двух наборов (Рис. 7.2). Например, если набор C содержит картируемые типы плохо дренируемых почв, тогда $X = (A \text{ AND } B) \text{ OR } C$ возвращает все картируемые типы, которые являются или (a) подзолами с $pH \geq 7.0$ или (b) типы плохо дренируемых почв. Отношение $X = A \text{ OR } (B \text{ AND } C)$ возвращает (a) все типы подзолов и (b) типы с $pH \geq 7.0$ и плохо дренируемые почвы.

Обратите внимание также, что логические операции могут требовать точного соответствия в атрибутах, чтобы получить данные, и они не принимают ошибочную учетную запись или неопределенность, если она специально не включена в определения наборов.

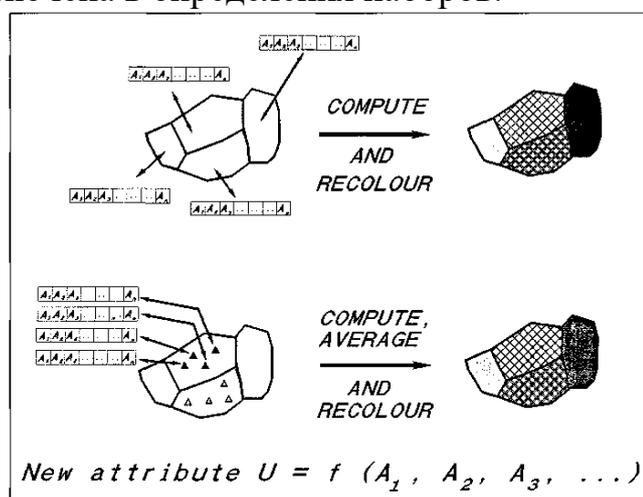


Рис. 7.3. При поиске объектов по атрибутам или вычислении новых атрибутов из старых, пространственные объекты карты не изменяют форму, только меняют цвет или тон (верх). То же самое происходит, когда исследование точки в полигоне применяется, чтобы найти ближайшие точечные объекты, которые используются для вычисления среднего по площади (низ).

Если значение атрибута "высота" установлено в 2000 м выше уровня моря, чтобы определить класс "гора" тогда холмы с повышениями до

1999.99999999... м будут отклонены. Это не является проблемой с порядковыми и номинальными типами данных, но это может представлять проблемы при работе со скалярными типами данных, представляющих количества (высота, рН, содержание глины, мощность почвы, атмосферное давление и т. д.), которые являются подчиненными различным источникам ошибок измерения и неопределенностей. Если ошибки затрагивают граничные значения наборов, тогда строгое приложение логических правил может выдавать противоестественные результаты.

Пространственные аспекты логического поиска по множественным атрибутам отдельных объектов

Выполнение логического поиска и переклассификации по непространственным атрибутам пространственных объектов неэффективно, если использовать изображение карты (за исключением работы с символами и удалении границ). Вычисление нового атрибута или условия требует подготовки легенды и переокраски выбранных объектов (см. рис. 7.3а и табл. 2.1). Когда выбор приводит к смежным полигонам, получающим одинаковый код, можно удалить границы между ними, таким образом, обобщая карту (рис. 7.4). Рисунок 7.5 иллюстрирует использование этой опции, чтобы упростить комплексную почвенную карту.

Булевы операции применимы не только к непространственным атрибутам географических элементов, они могут также применяться к географическому расположению и атрибутам, полученным из пространственных или топологических свойств географических объектов. Например, кто-то желает найти все участки, более 5 га в областях, имеющих почву с составом суглинки и глины в комбинации с $pH > 7.0$. Более сложные исследования могут включать очертания областей, свойства границ областей или свойств соседних областей типа лесистой местности, ограничивающей городские территории. В этих случаях, поиск был бы эффективен при использовании пространственных типов.

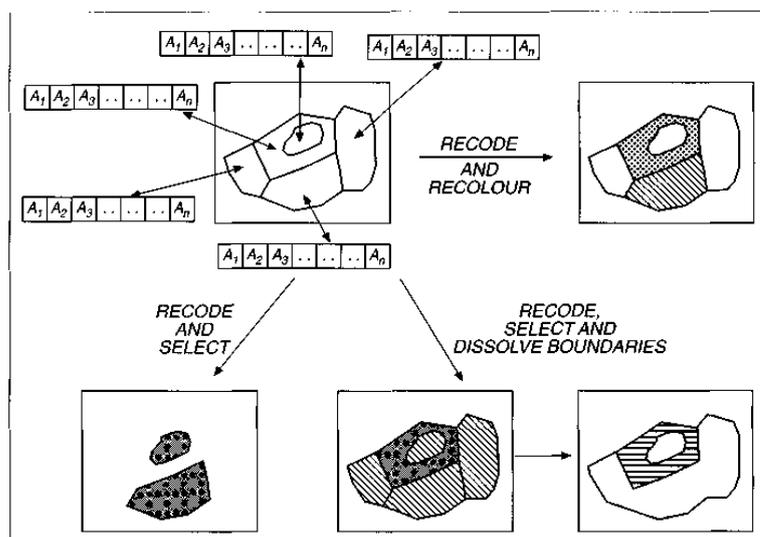


Рис. 7.4. Если два смежных полигона получают одинаковый новый код, границы между ними могут быть удалены, приводя к генерализации карты.



Рис. 7.5. Использование реклассификации как средства обобщения карты. Слева: первичная почвенная карта с 95 различными типами; справа: реклассифицированная карта с 12 типами. Обратите внимание, что реклассификация сохраняет оригинальную геометрию и что легенда и цветовые коды обращаются только к упрощенной карте.

Простые и сложные арифметические операции с атрибутами отдельных объектов

Новые атрибуты могут быть вычислены, используя все нормальные арифметические правила (+, -, /, *, логарифмы, тригонометрические функции, экспоненты и все комбинации этого, включая комплексные математические модели). Арифметические и тригонометрические операции могут, очевидно, только использоваться на скалярных данных и некоторых видах порядковых данных. Арифметические операции могут быть очень просты, или очень сложны, но во всех случаях результат операции - новый атрибут, вычисленный из существующих данных.

Некоторые гипотетические примеры вычисления новых атрибутов для данной административной области или пункта:

- Прирост населения: население 1990 - население 1980;
- Полная покупательная способность = средний доход * число людей;
- Средний урожай пшеницы на ферме = (полный урожай) / (число ферм);
- Прогнозируемый урожай = комплексная математическая модель, которая вычисляет урожай пшеницы как функция почвы, влажности, свойств питательных веществ в точке;
- распределение класса = многомерная классификация, как результат статистического или многокритериального анализа атрибутов объекта.

Для набора речных бассейнов коэффициент стока может быть вычислен делением годовых осадков для каждого бассейна на сток. Арифметические операции могут быть легко объединены с логическими операторами:
ЕСЛИ $(A + B) / (C) >$ проверка значения THEN КЛАСС = GOOD

Статистический анализ атрибутов

Не хватит места в этой книге, чтобы объяснить принципы одно- и многомерного статистического анализа. В этой главе мы предполагаем, что статистические методы - всего лишь один набор процедур среди многих для вычисления новых атрибутов.

Простой статистический анализ может использоваться, чтобы вычислить средние, среднеквадратичные отклонения и корреляции и регрессии. Операции могут применяться к набору атрибутов, приложенных к отдельным объектам или к любому набору объектов, которые найдены логическим поиском. Например, подсчитать среднее и дисперсию уровней нитрата для всех пунктов мониторинга грунтовых вод, включенных в область А.

ГИС обеспечивает простые статистические функции пользователям. Те, кто желают выполнить статистические вычисления, выбирают систему, в которой атрибуты пространственных объектов могут быть проанализированы, используя стандартный статистический пакет. Связывая ГИС к программе электронных таблицы или стандартному статистическому пакету типа Statistica, - простой способ обеспечить широкий диапазон логических, арифметических, и статистических операций, чтобы преобразовать данные атрибутов объектов, поддержанных в ГИС без того, чтобы интегрировать эти вычислительные инструментальные средства в ГИС. Как электронные таблицы, так и статистические пакеты включают полезные подпрограммы - для составления диаграмм, графиков.

Большинство статистических пакетов обеспечивают, по крайней мере, следующие процедуры для статистического анализа данных:

- Основные средства статистики, среднеквадратичные отклонения, дисперсии, асимметрия, эксцесс, максимумы и минимумы, и т.д.
- Непараметрическая медиана статистики, режим, верхние, и более низкие квартили.
- Гистограммы, 2-ые и трехмерные графики разброса, Одно- и многомерный дисперсионный анализ. Линейная регрессия и корреляция.
- Основные компоненты и факторный анализ. Кластерный анализ. Канонический анализ. Дискриминантный анализ.

Численные модели

Диапазон арифметических операций, которые могут применяться к числовым атрибутам, неограничен. Они часто используются, чтобы вычислить значения атрибутов, которые невозможно измерить. Стандартные наборы математических операций, которые были получены из эмпирического (регрессионного) моделирования, иногда называются передаточными функциями. Более сложные наборы математических функций, которые представляют физический процесс типа роста урожая, качества воздуха, движения грунтовых вод и т.д. часто именуется как модели. Большинство ГИС не обеспечены функциями для программирования этих сложных моделей; Вместо этого они используются, чтобы транслировать данные и экспортировать их в модель, которая могла бы постоянно находиться на другом компьютере в сети. Как только результаты были вычислены, они возвращаются в ГИС как новые атрибуты.

Использование эмпирических регрессионных моделей

Простой пример статистической модели обеспечивается линейной регрессией температуры в Швейцарских Альпах как функция высоты. Отношение между высотой поверхности и температурой в Швейцарских Альпах почти линейно и имеет форму:

$$T = 5,697 - 0,00443 * E / 7,2$$

Где Т в градусах Цельсия, и Е - высота в метрах. Каждая ячейка сетки обрабатывается как отдельный объект и в результате получается температурная карта из DEM.

Операции на атрибутах множества объектов перекрывающихся в пространстве

Здесь мы продолжаем обсуждение операций на атрибутах, чтобы включить атрибуты двух или более объектов, которые полностью или частично занимают одно и то же место в пространстве. Другими словами мы рассматриваем проблему включения:

А содержит В, или А содержится в В;

И проблема пересечения и перекрытия:

А пересекает В;

А перекрывается с В;

Где А и В - два различных пространственных объекта.

Случаи "А содержат В", и "А содержится в В", решаются, расширением правил Булевой алгебры от атрибутов объектов к измерениям того, как объекты занимают пространство.

Первый шаг в анализе должен определить, которые объекты включены или исключены в смысле расположения - например, "какие рестораны расположены в на Орбите", какие скважины пробурены в

структуре X?", как только объекты были выбраны и отмечены, процедуры атрибутов могут быть применены как для отдельного объекта, так и для всех вместе. Например, минимальные и максимальные уровни грунтовых вод могли быть извлечены для данного года, для каждой скважины, или подсчитан средний уровень воды всех скважин. Результат этих вычислений может использоваться, чтобы пометить полигон включения, который может быть отображен с новым цветом или меткой (Рис. 7.3b).

Другие примеры прикладных программ этого вида анализа: из археологии, "определить число последних захоронений железного века в округе", или "отыскать, все могилы и определить тип почвы и ландшафта", или из почвоведения: найти все профили подзолистых почв и вычислить среднее значение содержания глины и его среднеквадратичного отклонения".

Перекрытие объектов и их пересечение

В некоторых случаях "А содержит В, и А содержится в В" и "А пересекает В и перекрывается с В", где А и В - линии или полигоны различной формы, первые шаги в логическом поиске определяют новые области или сегменты линий. С полигонами процесс известен как оверлей полигона и пересечение, и это ведет к созданию новых пространственных объектов.

Рис. 7.9 показывает три различных результата, в зависимости от того, является ли операция пространственным Булевым *объединением* (рис. 7.9a), *закрыванием (охватом)* (рис. 7.9b), или *пересечением* (рис. 7.9c). Полигональные слои используются, чтобы ответить, что вопросы типа "найти район города, которая закрыта парками", в которых первый слой может показывать границам административных районов города, и второй слой очерчивает различные виды покрытия земли.

Пример вырезания слоя (рис. 7.9c) в физическом приложении - карта А - типы почвы, и карта В - граница водосбора, результат - карта почвы одного водосбора.

В некоторых ситуациях, перекрытие полигонов приводит к созданию так называемых паразитных полигонов (рис. 7.10). Это из-за маленьких ошибок в оцифровывании границ, которые, как предполагается, находятся в том же самом месте. Ошибки могут следовать из ошибок оцифровки, различия и др.

Как это ни парадоксально, попытка оцифровать линии более точно с большим количеством вершин не решает проблему.

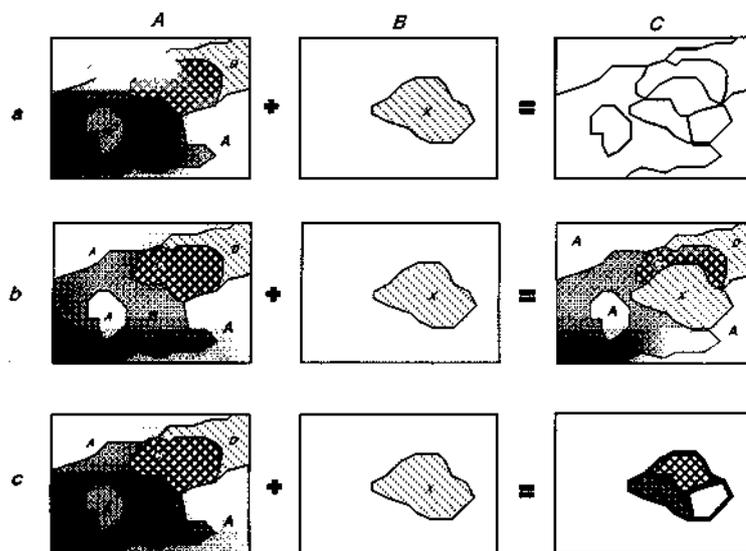


Рис. 7.9. Полигональные оверлеи полигонов приводят к увеличению числа объектов в базе данных, (а) простой оверлей - все границы сохранены; (b) вторая карта покрывает первую и изменяет детали карты в местном масштабе; (с) карта покрытия используется, чтобы вырезать маленькую часть первой карты

Операции на одном или более объектах, которые связаны направленными указателями (объектная ориентация)

Логические операции на линиях и полигонах, которые в результате приводят к разрезанию объектов или удалению их из базы данных, сильно загружают компьютер, потому что число объектов может зависеть от выполняемых операций.

В практике, если два простых полигона пересекаются, чтобы создать третью часть, то она и ее атрибуты наследуются от первоначальных полигонов и должны быть добавлены к базе данных. При переклассификации двух смежных полигонов удаляется общая, ненужная граница, вместо двух полигонов остается один который добавляется к базе данных.

Практически, число добавляемых или удаляемых полигонов, может быть большим и неопределенным, так что трудно говорить только насколько велика будет процедура. Чтобы сохранять изменение первоначальной базы данных, изменения часто вычисляются лишь на подмножестве первоначальных данных, и результаты сохраняются в отдельном файле или папке.

В гибридно-реляционной ГИС, добавление и удаление полигонов означает изменение пространственных и атрибутивных данных отдельно. Изменение пространственных данных - больше чем только добавление или удаление данных в таблице, потому что все топологические подключения должны быть повторно вычислены. Большинство коммерческих ГИС приняло компромиссное решение, проявляя заботу о модификации

пространственных представлений с их собственным программным обеспечением и используя коммерческие СУБД чтобы сохранить связанные атрибуты.

Операции, которые зависят от простого расстояния между A и B (буферизация)

Операции типа "A - внутри/вне расстояния D от B", где D - расстояние радиуса, выполняются *командой буферизации*. Это используется для выделения зоны вокруг начального объекта, где границы зоны или буфера все расстояния D от координат первоначального объекта. Если объект точки, то зона - круг, если прямая линия, то полигон с округленными концами, если неправильная линия или полигон, то расширенная версия того же самого (рис. 7.11). Буфер в действительности - новый полигон, который может использоваться как временная цель пространственного запроса, или это самостоятельный объект, добавленный к базе данных. Нахождение того, является ли объект внутренним или внешним или накладывается на буферную зону, тогда определяет использования операций, описанных выше (включая проблемы перекрытия полигонов) и логические или математические операции на объектах. Типичные примеры использования команды буферизации с параметрами анализа следующие:

- Определяют число ресторанов быстрого питания в пределах 5 км Белого дома.
- Исследуют возможность водного загрязнения из-за близости бензозаправочных станций к естественным водным путям.
- Вычисляют полную стоимость зданий, находящихся в пределах 200 м от предложенного маршрута для новой дороги.

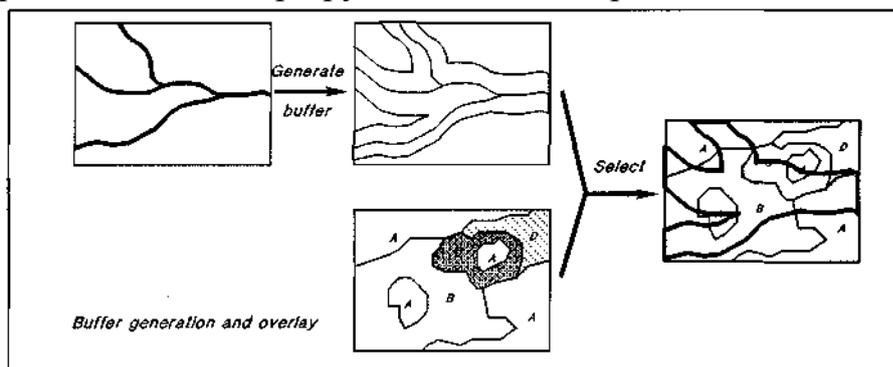


Рис. 7.11. Генерирование буферных зон вокруг точных объектов типа точек, линий или полигонов порождает новые полигоны, которые могут использоваться как оверлеи, чтобы выбрать определенные области карты.

Операции, которые зависят от связности

Это операции, в которых объекты непосредственно связаны в базе данных; связь может быть пространственной, как в случае где *A* - прямой сосед *B*, или в случае, где *A* связан со *B* топологической сетью, которая моделирует дороги или другие линии связи. Объекты могут также быть связаны внутренней топологией, когда сложные пространственные объекты составлены из наборов подобъектов.

Операции «*A* - прямой сосед *B*», и «*A* связан с *B* топологической сетью», используют явную информацию из пространственной базы данных для определения, как два объекта связаны. Эти операции широко используются для определения сервисов и услуг или для оптимизации маршрутов поставки.

Например, когда граница между двумя полигонами типов земли также определена как дорога, то очень просто выбрать те дороги/границы, которые имеют специфические виды покрытия земли с обеих сторон. Такой анализ легко отличил бы сельские дороги (с/х угодья с обеих сторон) от городских дорог (урбанизированные области с обеих сторон) или прибрежных дорог.

Анализ связности топологической сети широко используется в решении транспортных задач для выбора оптимального маршрута. Например дорога может быть идентифицирована не только ее шириной, поверхностью, классом и числом маршрутов, но также и ее визуальной привлекательностью (потенциальный туристский маршрут).

Соединение временных данных относительно плотности трафика за день или неделю к путевой информации обеспечивает надежное основание для оценки времен перемещения в течение любого времени, факторы, которые являются важными для расположения услуг скорой помощи.

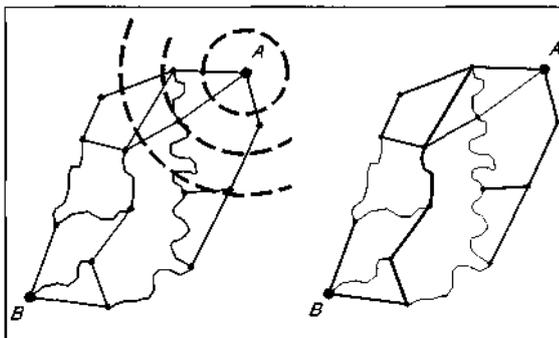


Рис. 7.12. Анализ транспортного времени от *A* до *B* через буферную зону (а) и (б) времени по различным маршрутам в сети, чтобы определить время перемещения для различных дорожных состояний. Пунктиры показывают схему буферных зон.

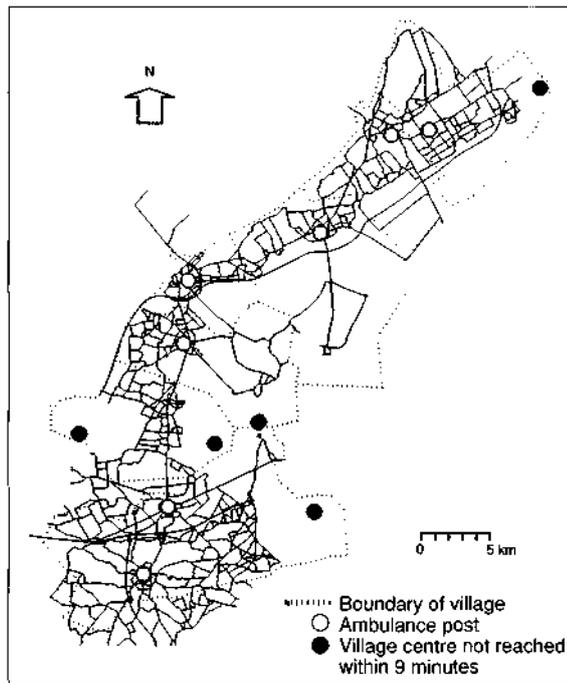


Рис. 7.13. Результаты анализа по времени в пути за которое скорая помощь прибудет по вызову (9 минут от станции). Черные линии показывают дороги, которые могут быть пройдены за 9 минут от станций (закрашенный кружок). Черные кружки показывают сельские центры, до которых скорая не придет вовремя.