

УДК 004.048

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ОТНОШЕНИЯ ПРИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Гордиенко Л.В.

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения», Таганрог, e-mail: lgordienko@sfnedu.ru

Настоящая статья посвящена исследованию способов описания топологических отношений в геоинформационных системах. Рассмотрены различные подходы к описанию топологических отношений в геоинформационных системах. Описаны основные виды топологий: точечная, сетевая, полигональная. Приведены классы объектов и их свойства для каждого вида топологий. Рассмотрены принципы интеллектуализации геоинформационных систем. В связи с интеллектуализацией геоинформационных систем понятие топологии приобретает новый смысл. Интеграция геоинформационной системы и экспертной системы позволяет проводить комплексный анализ отношений между пространственными объектами, основанный на правилах и логических выводах. В данной работе описан способ представления топологических отношений в среде геоинформационных систем, базирующийся на принципах интеллектуализации геоинформационных систем, и построены правила топологии для представления отношений между объектами.

Ключевые слова: пространственный объект, интеллектуальные геоинформационные системы, топологические отношения, сетевая топология, точечная топология, полигональная топология, экспертная система

THE TOPOLOGICAL RELATIONS IN INTELLIGENT GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Gordienko L.V.

Southern Federal University, Institute of nanotechnology, electronics and instrumentation, Taganrog, e-mail: lgordienko@sfnedu.ru

This article is dedicated to the study of ways to describe topological relationships in geographic information systems. The different approaches to the description of the topological relations in geographic information systems are considered. The basic types of topology are described: point, network, polygonal. Classes of objects and their property for each type of topology are given. The principles of intellectualization of geographic information systems are considered. In connection with the intellectualization of geographic information systems the concept of topology takes on new meaning. The integration of geographic information systems and expert system allows comprehensive analysis of the relationship between spatial objects based on the rules and logical conclusions. This paper describes a way to represent topological relationships among geographic information systems based on the principles of intellectualization of geographic information systems and built topology rules for representing relationships between objects.

Keywords: spatial object, intelligent geoinformation system geographic information systems, topological relationships, network topology, topology point, polygon topology, expert system

Пространственные объекты отличаются своей сложностью и разнородностью. Также неоднороден и характер расположения данных объектов. При этом пространственные объекты в той или иной степени взаимосвязаны между собой. Например, дорога «упирается» в здание или дорога огибает здание. От того, насколько точно и полно хранится информация в геоинформационной системе (ГИС) о взаимоотношении объектов, зависит качество решения многих задач. В настоящее время многие ГИС решают данную проблему неэффективно, т.к. отношения между объектами в них не описаны или малоинформативны. Для более полного решения задач необходимо использовать новые подходы и методы описания взаимодействия объектов.

Цель работы

В данной работе анализируются способы описания топологических отношений между пространственными объектами на

основе принципов интеллектуализации геоинформационных систем.

Результаты исследования и их обсуждение

Основой описания взаиморасположения картографических объектов являются топологические отношения. Топология делает возможным проведение расширенного пространственного анализа и играет фундаментальную роль в обеспечении качества данных ГИС. Если топологические отношения между объектами ГИС отличаются от отношений между реальными объектами, это существенно снижает качество карты.

Топологические отношения используются в картографии, на транспорте, при описании инженерных сетей. Например, наличие топологических отношений позволяет оперативно найти отключающие или изолирующие устройства (краны, задвижки) при аварии на трубопроводе.

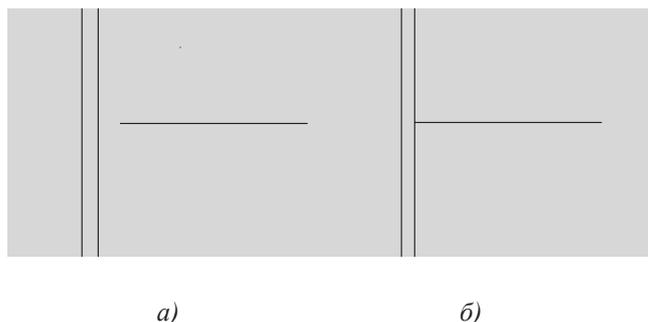


Рис. 1. а) Трубопровод соединен с основной магистралью (наличие топологических отношений); б) Трубопровод не соединен с основной магистралью (отсутствие топологических отношений)

Два наиболее общих типа топологических запросов в геоинформационных системах:

- Найти все объекты, находящиеся в топологическом отношении R с данным объектом;
- В каком топологическом отношении находятся объекты A и B ?

Существуют различные подходы к описанию данных отношений. Наиболее общим является теоретико-множественный подход [3], в котором топология базируется на таких понятиях, как непрерывность, граница, замкнутость и множество внутренних точек, которые могут быть определены посредством соотношения окрестностей точек пространственных объектов. Бинарные топологические отношения между двумя объектами A и B на плоскости R^2 основаны на пересечении границы (∂A), внутренней (A^0) и внешней (A^-) области объекта A с границей (∂B), внутренней (B^0) и внешней (B^-) областью объекта B . Матрица девяти пересечений шести частей объектов определяет топологические отношения и может быть кратко представлена следующим образом:

$$G_9(A, B) = \begin{pmatrix} A^0 \cap B^0 & A^0 \cap \partial B & A^0 \cap B^- \\ \partial A \cap B^0 & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^0 & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}$$

Рассматривая значения «пусто» (0) и «непусто» (1), можно выделить $2^9 = 512$ бинарных топологических отношений. Для двумерной области, вложенной в R^2 , можно представить восемь отношений, обеспечивающих полное, взаимно исключающее покрытие. Этими отношениями являются непересекающийся, соприкасаться, перекрывать, равный, содержит, внутри, покрывает и покрыт. Указанная модель топологических отношений полностью описывает пространственные отношения между объектами на уровне констатации факта отношения, но не содержит средств описания

характера отношения. Например, если два региона касаются в двух точках, в модели будет зафиксирован только факт касания.

Во многих известных ГИС анализируется взаимное влияние посредством координатной составляющей [1]. Однако многие тематические карты одной и той же территории могут иметь различные масштабы, также в зависимости от типа и времени съемки может возникнуть несоответствие между пространственными объектами.

Также для описания топологических отношений пространственных объектов широко применяют графовые модели [8, 10]. В этих моделях могут быть использованы разные виды отношений. При этом следует отличать пространственный граф, который содержит пространственную топологию от описательного графа, который содержит дополнительное описание. То есть цифровая карта, имеющая топологическую структуру, представляет собой пространственный граф, т.е. набор точек на местности (узлов), соединенных ломаными линиями – дугами. А дугам описательного графа может быть поставлено в соответствие некоторое число – одна из характеристик объекта, например качество дорожного покрытия.

Следует тщательно планировать пространственные отношения объектов в ГИС. Некоторые правила топологии управляют отношениями объектов в пределах одного класса объектов, другие – управляют отношениями между объектами в двух различных пространственных классах.

В ГИС наиболее распространены три типа топологий [7]:

- Точечная;
- Сетевая;
- Полигональная.

Точечная топология строится из точечных объектов (рис. 2). На рис. 2 точечная топология образована адресами пунктов потребителей.

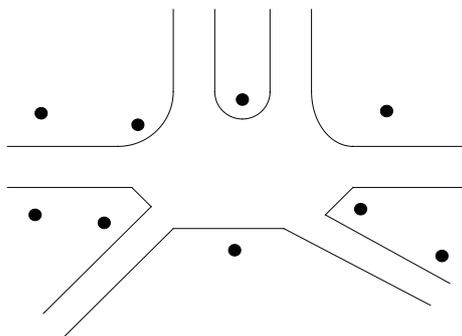


Рис. 2. Точечная топология пунктов потребителей

Точечная топология описывается классом объектов $T^P = \langle I^P, S^P, Dp^P \rangle$, свойствами которого являются I^P – имя топологии; S^P – тип; Dp^P – число точек.

Сетевая топология строится из линейных объектов и может включать точечные объекты. Наиболее распространенная область применения сетевой топологии – анализ транспортных сетей. Сетевые топологии позволяют решать некоторые оптимизационные задачи из теории графов: определение степени связности, кратчайшего расстояния и др.

Сетевая топология устанавливает, чтобы внутри одного класса пространственных объектов не было совпадающих линий, линии не пересекались, не имели висячих узлов и т.д.

На рис. 3 для примера изображен участок городской транспортной сети.

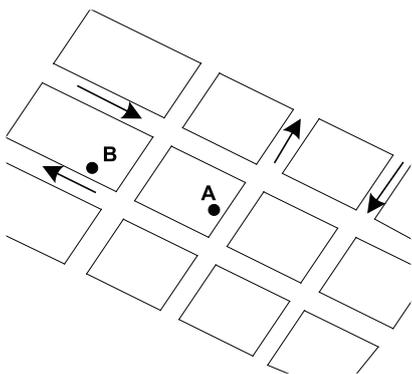


Рис. 3. Сетевая топология автодорог

При решении задач управления материальными потоками поиска кратчайшего пути описание транспортной сети сетевой топологией дает возможность задать смежность участков дорог (с учетом разрешающих поворотов дорожных знаков) и определить направление (на рис. 4 показано стрелками) движения. Если участок описан как сетевая топология, с помощью соот-

ветствующего метода класса может быть найден и построен на карте кратчайший путь между указанной парой точек сети A и B (рис. 4).

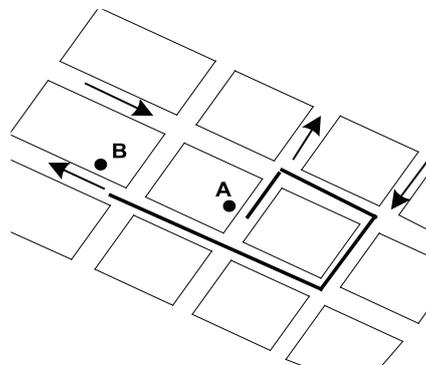


Рис. 4. Кратчайший путь между точками A и B на сети

Сетевая топология описывается классом объектов $T^S = \langle I^S, S^S, Dp^S, Dr^S, L^S \rangle$, свойствами которых являются: I^S – имя топологии; S^S – тип; Dp^S – число точек; Dr^S – число ребер, соединяющих пары точек; L^S – длина ребер.

Полигональная топология строится из двумерных объектов. Данный вид топологии используется при моделировании земельных участков, административно-территориальных единиц, различных тематических зон (например, зон функционирования супермаркетов и торговых центров). Пример полигональной топологии приведен на рис. 5.



Рис. 5. Полигональная топология «соседства» земельных участков

Полигональная топология описывается классом объектов

$$T^{PL} = \langle I^{PL}, S^{PL}, Dp^{PL}, Dr^{PL}, Dpl^{PL}, Pr^{PL}, Sq^{PL} \rangle,$$

свойствами которого являются: I^{PL} – имя топологии; S^{PL} – тип; Dp^{PL} – число точек; Dr^{PL} – число ребер, соединяющих пары точек; Dpl^{PL} – число полигонов; Pr^{PL} – периметр; Sq^{PL} – площадь.

Полигональная топология требует, чтобы полигоны в пространственном классе не перекрывали друг друга, не имели разрывов и т.д. Например, можно убедиться, что все полигоны участков образуют замкнутые контуры, что они не перекрываются и что между участками нет промежутков.

Можно также использовать топологию для проверки пространственных отношений между объектными классами. Например, можно удостовериться, что линии границ землеотводов в созданной модели данных имеют общую совпадающую геометрию с границами земельных участков.

Однако в связи с интеллектуализацией ГИС понятие топологии приобретает новый смысл. Интеллектуальные ГИС должны обеспечивать комплексный анализ и интерпретацию разнородных данных, поддержку принятия решений и моделирование рассуждений о пространственной ситуации с учетом различных НЕ-факторов [4, 6]. Под интеллектуальной ГИС (ИГИС) будем понимать сложный программный продукт, включающий как непосредственно саму ГИС, так и различные элементы искусственного интеллекта для решения задач, содержащих неполноту, неоднозначность, неточность информации [2, 5]. Основной частью интеллектуальной ГИС является база знаний, которая представляет собой хранилище экземпляров абстракций реальных объектов и связей между ними.

Следующим важным компонентом ИГИС является экспертная система, включающая в себя машину логического вывода и набор логических правил. Обычно она представляет собой ориентированную на правила систему, предназначенную для обработки знаний, хранящихся в базе знаний. Правила-продукции являются частью экспертной системы и имеют следующий вид:

IF Условие THEN Действие.

Здесь *Условие* – четкое или нечеткое высказывание, *Действие* – четкая или нечеткая команда на поиск или изменение.

Для получения выводов, продукции могут образовывать сложные цепочки. Описания правил так же могут храниться в базе знаний, как часть описания предметной области. Экспертная система служит для решения двух задач в ИГИС. Первая из них традиционна для экспертных систем и заключается в выдаче рекомендаций в слож-

ных для принятия решения ситуациях. Вторая задача – управление сложными режимами моделирования.

Интеграция геоинформационной системы и экспертной системы расширяет круг решаемых ими задач и открывает путь для более гибкого и комплексного анализа отношений между пространственными объектами, основанного на правилах и логических выводах.

Процесс анализа топологических отношений в некоторых областях пространства базируется на оценке различных характеристик объектов [9], например:

- форма пространственных объектов одинакова, однако размер разный;
- объекты совпадают по форме и размеру, однако расстояние между ними различно и т.д.

Поэтому в ГИС при описании топологических отношений необходимо учитывать следующие их составляющие:

- функциональные (определяют влияние одних объектов на другие);
- количественные (далеко, близко);
- пространственные (за, под, над...);
- атрибутивные (иметь свойство, иметь значение);
- логические (И, ИЛИ, НЕ);
- концептуальные (задают правила образования топологии).

Таким образом, под топологическим отношением пространственных объектов в ГИС понимаем отношение xRy , в котором $R = \langle \underline{F}, Pr, At, Kv, L, Con \rangle$, где $F = \{F_t\}$, $t = 1..n$ – множество функциональных составляющих; $Pr = \{Pr_p\}$, $p = 1..m$ – множество пространственных взаимоотношений; $At = \{At_r\}$, $r = 1..j$ – множество атрибутивных значений; $Kv = \{Kv_d\}$, $d = 1..i$ – множество количественных отношений; $L = \{L_g\}$, $g = 1..k$ – множество логических правил; $Con = \{Con_w\}$, $w = 1..l$ – множество концептуальных правил.

Данный подход описания топологических отношений позволяет оценивать также степень близости и связанности пространственных объектов. Анализ топологических отношений происходит на основе правил экспертной системы.

Например, пространственный объект Obj_1 находится справа (Pr_1) от Obj_2 на расстоянии Kv_1 и Obj_3 располагается под (Pr_3) Obj_2 на расстоянии Kv_2 . Таким образом, правило топологии имеет вид

$$((Obj_1 Pr_1 Obj_2) \text{ и } (Obj_1 Kv_1 Obj_2) \text{ и } (Obj_2 Pr_3 Obj_3) \text{ и } (Obj_2 Kv_2 Obj_3)) | Kv_1 \leq Kv_2 => ((Obj_1 Pr_1 Obj_3) \text{ и } (Obj_1 Kv_3 Obj_3));$$

$$\left((Obj_1 Pr_1 Obj_2) \text{ и } (Obj_1 Kv_1 Obj_2) \text{ и } (Obj_2 Pr_3 Obj_3) \text{ и } (Obj_2 Kv_2 Obj_3) \right) | Kv_1 \leq Kv_2 \Rightarrow \\ \left((Obj_1 Pr_1 Obj_3) \text{ и } (Obj_3 Kv_4 Obj_1) \right).$$

Другой пример: пространственный объект Obj_1 размещается над (Pr_4) объектом Obj_2 на расстоянии Kv_3 и Obj_3 , располагается под (Pr_3) Obj_2 на расстоянии Kv_4 . То правило топологии будет иметь вид

$$\left((Obj_1 Pr_4 Obj_2) \text{ и } (Obj_1 Kv_3 Obj_2) \text{ и } (Obj_2 Pr_3 Obj_3) \text{ и } (Obj_2 Kv_4 Obj_3) \right) | Kv_3 \leq Kv_4 \Rightarrow \\ \left((Obj_1 Pr_1 Obj_3) \text{ и } (Obj_1 Kv_3 Obj_3) \right);$$

$$\left((Obj_1 Pr_1 Obj_2) \text{ и } (Obj_1 Kv_1 Obj_2) \text{ и } (Obj_2 Pr_3 Obj_3) \text{ и } (Obj_2 Kv_2 Obj_3) \right) | Kv_1 \leq Kv_2 \Rightarrow \\ \left((Obj_1 Pr_1 Obj_3) \text{ и } (Obj_3 Kv_4 Obj_1) \right).$$

Выводы

Таким образом, топологические отношения являются основой работы любой ГИС. Их использование позволяет качественно структурировать пространственно-распределенные данные. При помощи топологии пространственным данным присваивается поведение реальных ГИС-объектов. Использование различных составляющих при описании топологических отношений позволяет на качественно новом уровне моделировать поведение пространственных объектов. Правила-продукции вывода топологий являются структурной составляющей интеллектуальной оболочки ГИС.

Список литературы

1. Андрианов Д.Е. Метод определения взаимосвязи пространственно распределенных объектов // Геоинформатика. – 2006. – № 4. – С. 7–9.
2. Беляков С.Л., Розенберг И.Н. Интеллектуальные геоинформационные системы // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 4. – С. 32–37.
3. Верещагин Н.К. Начала теории множеств. Математическая логика и теория алгоритмов [Текст] / Н.К. Верещагин, А. Шень. – М.: МЦНМО, 2008. – 128 с.
4. Гордиенко Л.В. Описание топологических отношений объектов в геоинформационной системе при управлении материальными потоками // Наука и образование. – 2014. – № 3. – С. 26–27.
5. Михеев А.М., Семочкина И.Ю. Интеллектуальная геоинформационная система мониторинга и контроля состояний пространственно распределенных технически сложных объектов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 3. – С. 48–51.
6. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: неточность и недоопределенность – различие и взаимосвязь // Изв. РАН «Теория и системы управления». – 2000. – № 5. – С. 17–25.
7. Самойлов Л.К. Использование геоинформационных систем в работе предприятия / Л.К. Самойлов, С.Л. Беля-

ков, А.А. Палазиенко: учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.

8. Цветков В.Я. Виды пространственных отношений // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 5. – С. 138–139.

9. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике // Международный научно-технический и производственный журнал «Науки о Земле». – 2012. – Вып. 01. – С. 59–61.

10. Jiang B., Claramunt C. Topological analysis of urban street networks. Environment and Planning B: Planning and design. – 2004. – № 31 (1). – P. 151–162.

References

1. Andrianov D.E. Metod opredelenija vzaimosvjazi prostanstvenno raspredeleennyh obektov // Geoinformatika. 2006. no. 4. pp. 7–9.
2. Beljakov S.L., Rozenberg I.N. Intellekturnye geoinformacionnye sistemy // Zheleznodorozhnyj transport. 2011. no. 4. pp. 32–37.
3. Vereshhagin N.K. Nachala teorii mnozhestv. Matematicheskaja logika i teorija algoritmov [Tekst] / N.K. Vereshhagin, A. Shen. M.: MCNMO, 2008. 128 p.
4. Gordienko L.V. Opisanie topologicheskikh otnoshenij obektov v geoinformacionnoj sisteme pri upravlenii materialnymi potokami // Nauka i obrazovanie. 2014. no. 3. pp. 26–27.
5. Miheev A.M., Semochkina I.Ju. Intellekturnaja geoinformacionnaja sistema monitoringa i kontrolja sostojanij prostanstvenno raspredeleennyh tehnichecki slozhnyh obektov // Nadezhnost i kachestvo slozhnyh sistem. 2013. no. 3. pp. 48–51.
6. Narinjani A.S. NE-factory: netochnost i nedoopredelennost razlichie i vzaimosvjaz // Izv. RAN «Teorija i sistemy upravlenija». 2000. no. 5. pp. 17–25.
7. Samojlov L.K. Ispolzovanie geoinformacionnyh sistem v rabote predprijatija / L.K. Samojlov, S.L. Beljakov, A.A. Palazienko: ucheb. posobie. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2004.
8. Cvetkov V.Ja. Vidy prostranstvennyh otnoshenij // Uspеhi sovremennogo estestvoznanija. 2013. no. 5. pp. 138–139.
9. Cvetkov V.Ja. Prostranstvennyye otnoshenija v geoinformatike // Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Nauki o Zemle». 2012. Vyp. 01. pp. 59–61.
10. Jiang B., Claramunt C. Topological analysis of urban street networks. Environment and Planning B: Planning and design. 2004. no. 31 (1). pp. 151–162.