

С.В. ЕРЕМЕЕВ

**Иерархические структуры
пространственных объектов с
учетом их топологии**

УДК 004

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВПО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г.Муром

В статье рассматривается применение иерархии в геоинформационных системах, где особое внимание уделяется многомасштабному представлению пространственных объектов. Приводится математическое описание иерархических структур пространственных данных и исследуются топологические отношения на разных масштабах карты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-07-31182 мол_а)

Иерархическое представление объектов используется достаточно давно и хорошо себя зарекомендовало. Особенно наглядно иерархия видна для геометрических объектов [1,2]. Многообразие различных геометрических форма наблюдается и развивается в геоинформационных системах (ГИС) [3,4,5]. Можно выделить несколько направлений, где в этой области используется иерархия:

1. *Многомасштабное представление объектов карты.* В этом случае объект одного масштаба включает в себя множество объектов другого масштаба. Например, область рассматривается на уровне городов, городская территория содержит кварталы, квартальный участок включает в себя объекты недвижимости и т.д. (рис.1-3):

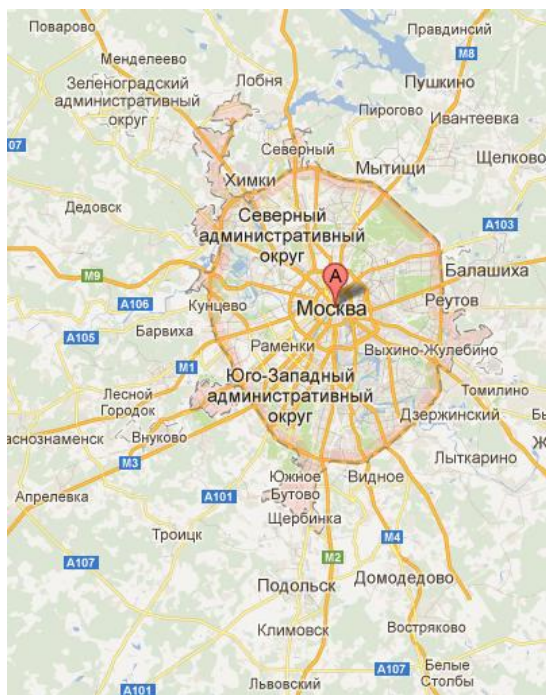


Рис.1. Карта google на уровне области

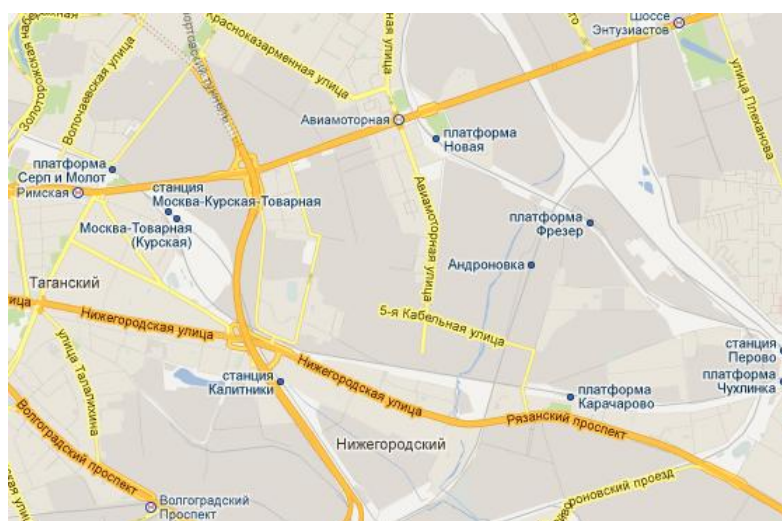


Рис.2. Карта google на уровне кварталов



Рис.3. Карта google на уровне объектов недвижимости

2. *Иерархия геометрии объектов.* Рассматривается сложный пространственный объект, который содержит либо другие составные объекты, либо геометрические примитивы (рис.4):

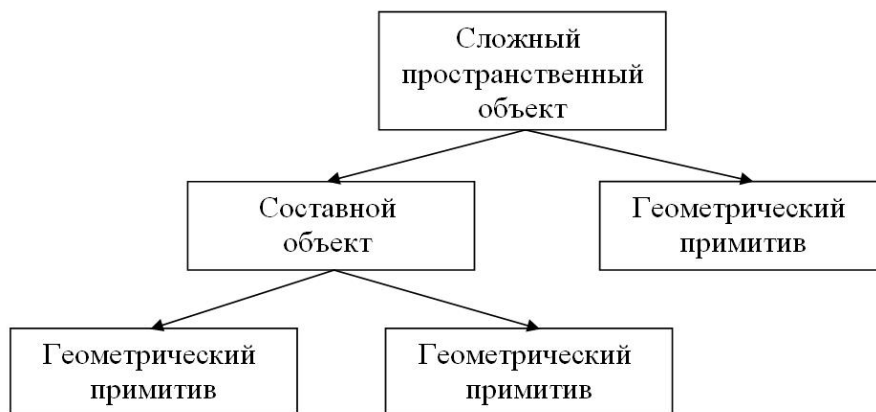


Рис.4. Схема иерархического представления геометрии сложного пространственного объекта

3. *Иерархия классов.* Предполагается, что используется наследование характеристик пространственных объектов с добавлением новых свойств и методов (рис. 5):

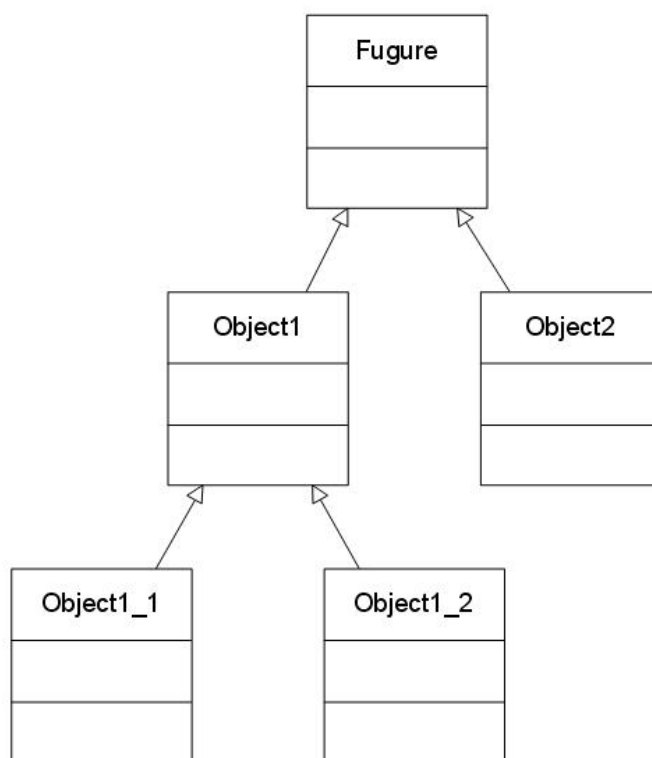


Рис.5. Иерархия классов пространственных объектов

Такое представление объектов успешно используется в различных приложениях ГИС. С другой стороны, важнейшим аспектом любой ГИС и муниципальной, в частности, является присутствие топологических отношений между пространственными объектами [6,7]. Особый интерес вызывает описание и анализ топологических отношений в иерархическом представлении пространственных объектов для разных масштабов карты [8].

Вопросы иерархической топологии в ГИС исследовались в [1,2]. Так, например, в работе [2] берутся два объекта A и B , которые имеют сложную геометрическую форму. Для описания топологических отношений рассматривается расширенная матрица 9 пересечений по формуле (1). Т.е. граница объекта A состоит из нескольких объектов, каждый из которых взаимодействует с B отдельно. Например, отрезок содержит в качестве границы два точечных объекта.

$$M(A,B) = \begin{pmatrix} A^0 \cap B^0 & A^0 \cap \partial B & A^0 \cap B^- \\ \left[\begin{matrix} \partial_1 A \cap B^0 \\ \partial_2 A \cap B^0 \\ \dots \\ \partial_n A \cap B^0 \end{matrix} \right] & \left[\begin{matrix} \partial_1 A \cap \partial B \\ \partial_2 A \cap \partial B \\ \dots \\ \partial_n A \cap \partial B \end{matrix} \right] & \left[\begin{matrix} \partial_1 A \cap B^- \\ \partial_2 A \cap B^- \\ \dots \\ \partial_n A \cap B^- \end{matrix} \right] \\ A^- \cap B^0 & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где A^0, B^0 - внутренняя часть объектов A, B ;

$\partial A_1, \partial A_2, \dots, \partial A_n, \partial B$ - границы объектов A, B ;

A^-, B^- - внешняя часть объектов A, B .

Таким образом, данная матрица позволяет описать топологию двух сложных пространственных объектов, но без учета многомасштабности.

Рассмотрим теперь фрагменты карты разных масштабов (рис. 6,7).

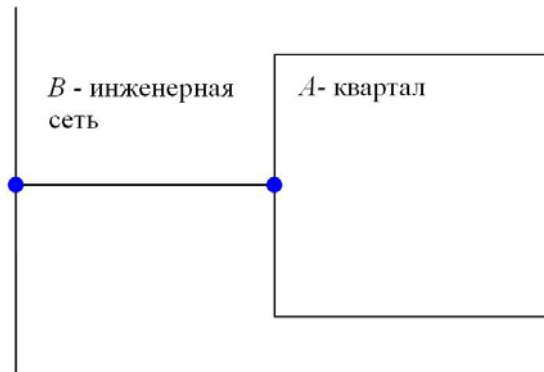


Рис.6. Инженерная сеть подсоединена к кварталу

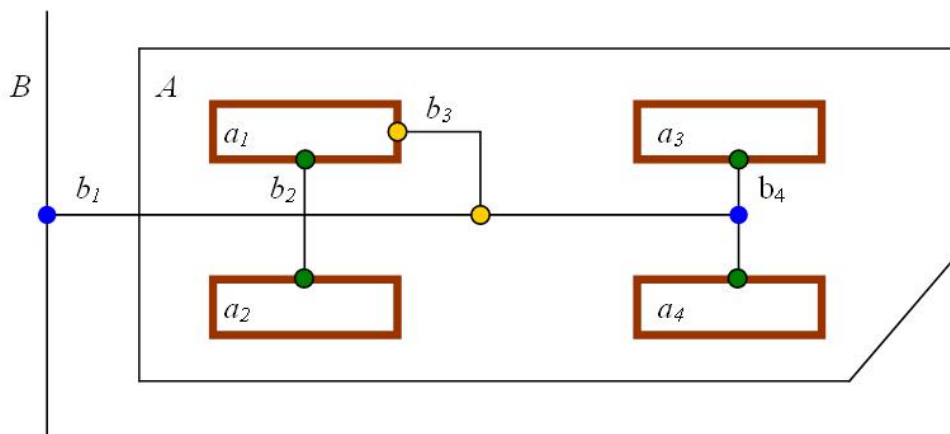


Рис.7. Инженерная сеть подсоединена к конкретному дому

В первом случае рис.6 показывает, что инженерная сеть B соединена с кварталом A . Во втором случае (рис.7) наблюдаем детализацию карты, где инженерная сеть подключена к каждому дому.

Для масштаба верхнего уровня (без детализации) матрица пересечений будет иметь стандартный вид (2):

$$M(A, B) = \begin{pmatrix} A^0 \cap B^0 & A^0 \cap \partial B & A^0 \cap B^- \\ \partial A \cap B^0 & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^0 & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Рассмотрим теперь отдельно на масштабе с детализацией внутреннюю часть объектов A и B .

Пусть $A^0 = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, $B^0 = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, т.е. внутренние части объектов A и B включают объекты, входящие в карту другого масштаба. Покажем, как происходит топологическое взаимодействие между вложенными объектами в формуле (3). Т.е. внутренняя часть объекта A включает новые объекты, которые, в свою очередь, также имеют внутреннюю, внешнюю части и границу. Аналогичная ситуация происходит с объектом B . В кратком виде формула (3) примет вид:

$$M(A^0, B^0) = \begin{pmatrix} a_i^0 \cap b_j^0 & a_i^0 \cap \partial b_j & a_i^0 \cap b_j^- \\ \partial a_i \cap b_j^0 & \partial a_i \cap \partial b_j & \partial a_i \cap b_j^- \\ a_i^- \cap b_j^0 & a_i^- \cap \partial b_j & a_i^- \cap b_j^- \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где a_i ($i=1,2,\dots,n$) - объекты, входящие в состав внутренней части объекта A ,

b_j ($j=1,2,\dots,m$) - объекты, которые содержатся внутри объекта B .

По аналогии с (3,4) необходимо рассмотреть топологические отношения между другими частями иерархических структур A и B , а именно, взаимодействие внешних частей $M(A^-, B^-)$, границ $M(\partial A, \partial B)$, внутренней и внешней частей $M(A^0, B^-)$, $M(A^-, B^0)$,

внутренней части и границы $M(A^0, \partial B)$, $M(\partial A, B^0)$, границы и внешней части $M(\partial A, B^-)$, $M(A^-, \partial B)$. Покажем это в формуле (5).

$$M(A^0, B^0) = \begin{pmatrix} \begin{bmatrix} a_1^0 \cap b_1^0 \\ a_1^0 \cap b_2^0 \\ \dots \\ a_2^0 \cap b_1^0 \\ \dots \\ a_n^0 \cap b_m^0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} a_1^0 \cap \partial b_1 \\ a_1^0 \cap \partial b_2 \\ \dots \\ a_2^0 \cap \partial b_1 \\ \dots \\ a_n^0 \cap \partial b_m \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} a_1^0 \cap b_1^- \\ a_1^0 \cap b_2^- \\ \dots \\ a_2^0 \cap b_1^- \\ \dots \\ a_n^0 \cap b_m^- \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \partial a_1 \cap b_1^0 \\ \partial a_2 \cap b_2^0 \\ \dots \\ \partial a_2 \cap b_1^0 \\ \dots \\ \partial a_n \cap b_m^0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \partial a_1 \cap \partial b_1 \\ \partial a_2 \cap \partial b_2 \\ \dots \\ \partial a_2 \cap \partial b_1 \\ \dots \\ \partial a_n \cap \partial b_m \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \partial a_1 \cap b_1^- \\ \partial a_2 \cap b_2^- \\ \dots \\ \partial a_2 \cap b_1^- \\ \dots \\ \partial a_n \cap b_m^- \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} a_1^- \cap b_1^0 \\ a_1^- \cap b_2^0 \\ \dots \\ a_2^- \cap b_1^0 \\ \dots \\ a_n^- \cap b_m^0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} a_1^- \cap \partial b_1 \\ a_1^- \cap \partial b_2 \\ \dots \\ a_2^- \cap \partial b_1 \\ \dots \\ a_n^- \cap \partial b_m \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} a_1^- \cap b_1^- \\ a_1^- \cap b_2^- \\ \dots \\ a_2^- \cap b_1^- \\ \dots \\ a_n^- \cap b_m^- \end{bmatrix} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

$$M(A, B) = \begin{pmatrix} M(A^0 \cap B^0) & M(A^0 \cap \partial B) & M(A^0 \cap B^-) \\ M(\partial A \cap B^0) & M(\partial A \cap \partial B) & M(\partial A \cap B^-) \\ M(A^- \cap B^0) & M(A^- \cap \partial B) & M(A^- \cap B^-) \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Анализируя матрицу верхнего (2) и детализированного (3) уровней по рис. 6,7 можно заметить общие свойства. Граница объекта A с границей объекта B соприкасаются, что при пересечении дает не

пустое множество, т.е. $\partial A \cap \partial B = \bar{\emptyset}$. На детализированном уровне также границы a_i соприкасаются с границами b_j . Т.е. наблюдаем наследование топологических свойств пространственных объектов.

В отличие от матрицы, описанной в работе [2], пространственные объекты на детализированном уровне меняют свою геометрическую форму и дополняются новыми объектами, что позволяет представить сложные топологически связанные иерархические структуры в многомасштабных картах.

Также данное представление пространственной информации позволит в дальнейшем рассчитать матрицу топологических отношений одного уровня на основе матрицы другого уровня. Другое практическое применение – это сопоставление объектов разномасштабных карт по топологическим отношениям.

Литература

1. *Min Deng* A hierarchical representation of line-region topological relations, 2008. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B2. Beijing, pp. 25-30.
2. *Roland Billen, Yohei Kurata* Refining Topological Relations between Regions Considering Their Shapes, 2008. 5th International Conference, GIScience, pp. 20-38.
3. *Дулин С.К. Розенберг И.Н.* О развитии методологических основ и концепций геоинформатики // Системы и средства информатики. 2006. С. 201-256.
4. *Мартыненко А.И., Никишин А.Н., Никишин Д.А.* Единая географическая информационная система: проблемы и стратегии формирования // Системы и средства информатики. 2007. №17. С. 355-390.
5. *Еремеев С.В., Андрианов Д.Е., Баринов А.Е., Титов Д.В.* Алгоритмы поиска объектов по пространственным характеристикам в задачах муниципальных ГИС // Известия юго-западного государственного университета. 2012. №2. С. 37-41.
6. *Еремеев С.В.* Алгоритмы обработки данных в геоинформационной системе для учета земельных участков // Ползуновский вестник. 2012. № 2/1. С. 121-125.
7. *Еремеев С.В.* Пространственно-временной анализ муниципальных карт // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. №4. С. 52-57.
8. *Еремеев С.В.* Многоуровневое представление пространственных данных в геоинформационных системах // [Геоинформатика](#). 2006. № 1. С. 26-29.

ТЕЛЕФОН: 8-905-142-1234
E-MAIL: SV-EREMEEV@YANDEX.RU