

УДК 528.9

Е.И. Лавров

Применение квадротомических деревьев для нормативного отбора рек.

С развитием вычислительной техники наблюдается рост числа геоинформационных систем (ГИС), позволяющих решать многие задачи экологии, управления, картографии [1, 2]. В существующих ГИС реализованы технологии сбора, хранения, визуализации пространственных данных, но в то же время они не способны эффективно решать многие задачи обработки информации. К таким задачам относится картографическая генерализация. Она возникает, например, при создании специальных карт или при переходе от карты крупного масштаба к более мелкому и проявляется в необходимости отказа от незначительных деталей изображения с целью выявления характерных особенностей объектов и картографируемой территории в целом, получения качественно новой информации о них [3]. С другой стороны, генерализация приводит к сжатию данных и облегчению визуального восприятия картографического изображения.

Одной из наиболее трудоемких операций при проведении ручной генерализации является операция отбора картографируемых объектов. При отборе на карте оставляют наиболее важные и необходимые объекты с точки зрения факторов генерализации [4] (такими факторами являются масштаб и назначение карты). Выделяют, в частности, цензовый и нормативный отбор. Цензовый отбор формализуется достаточно просто [5]; его проведение определяется заданием критерия (ценза), ниже которого не следует отображать явления на карте (например, исключить все реки, длина которых менее 1,5 см). При нормативном отборе важно учитывать нагрузку карты. Для решения проблемы нормативного отбора Ф. Топфер [6] сформулировал закон «квадратного корня», согласно которому степень генерализации зависит от корня из отношения масштабов исходной и производной карт:

$$n_b = n_a \sqrt{m_b / m_a}, \quad (1)$$

где n_a и n_b – число объектов соответственно на исходной и составляемой картах; m_a и m_b – численные масштабы соответственно исходной и составляемой карт. Этот эмпирически установленный принцип был применен им к топографическим картам с одинаковыми картографическими условными знаками.

Для других случаев Ф. Топфером были предложены усложненная формула

$$n_b = n_a k_z k_r \sqrt{m_b / m_a}, \quad (2)$$

где k_z – коэффициент значимости объектов, k_r – коэффициент, связанный с видом и размером картографических условных знаков.

Главным недостатком данных формул является то, что в них не учитывается географический аспект проблемы, а именно изменение плотности генерализуемых элементов содержания карты.

Э. Срнак [7] предложил аналитические выражения для отбора объектов в виде экспоненциальных функций, учитывающие относительную значимость и различия в плотности каждого элемента содержания карты. Однако и эти формулы позволяют установить лишь меру отбора, оставляя выбор сохраняемых объектов на усмотрение картографа-составителя.

Одна из предложенных формул имеет вид:

$$n_b = k_s n_a^{-k_d}, \quad (3)$$

где n_b – число объектов (в %), сохраняемых на составляемой карте; k_d – коэффициент, определяющий общую меру отбора конкретного элемента карты; n_a – число объектов на исходном картматериале; k_s – коэффициент, определяющий изменение в мере отбора в зависимости от плотности элемента на конкретных участках источника.

Формула для отбора линейных объектов приобретает вид:

$$n_b = k_s n_a^{-k_d} l^{k_1}, \quad (4)$$

где l – суммарная длина линейных элементов по отдельным участкам карты исходного материала; k_d и k_1 – коэффициенты, определяющие изменения в мере отбора в зависимости от числа и общей длины линейных объектов на соответствующих участках исходного картматериала.

Итак, приведенные выше формулы дают ответ на вопрос, сколько объектов оставлять на карте, но не способны определить, какие именно. Метод сортировки объектов по убыванию их величины и оставлению только n первых во многих случаях географически некорректен. Рассмотрим вариант решения этой проблемы для нормативного отбора рек.

Предел длины рек, наносимых на карты, составляет 1,5 см. Однако в случае нормативного отбо-

ра производятся отклонения от установленного ценза в связи с необходимостью передачи густоты речной сети, которая чаще всего увеличивается за счет мелких рек, а также с выделением особенностей некоторых речных систем, где большое значение для характеристики типа системы имеет наличие мелких рек [8].

Величина ценза для отбора рек зависит от коэффициента густоты, который выражает отношение суммарной длины речной сети к площади ее бассейна [9]:

$$K_r = \frac{\sum l}{P} \text{ км} / \text{км}^2, \quad (5)$$

где $\sum l$ – общая длина рек, P – площадь бассейна.

По густоте выделяются пять групп речной сети (см. табл.). Для каждой группы в результате анализа изданных карт эмпирически определены нормы отбора [8, 9].

Нормы отбора рек по густоте

Типы речной сети по густоте	Коэффициент густоты (км/км ²)	Нормы отбора (см)	
		средние	предельные
Очень редкая	Менее 0,10	Написана все	Постоянная река
Редкая	0,10-0,20	1,2	1,0-1,4
Средней густоты	0,20-0,40	1,0	0,8-1,2
Густая	0,40-0,70	0,8	0,6-1,0
Очень густая	Более 0,70	0,6	0,4-0,8

Таким образом, для определения ценза отбора каждой реки необходимо вычислить коэффициент густоты бассейна, в котором она протекает. Проблема состоит в автоматическом определении границ данного бассейна. В качестве границ можно взять минимальный прямоугольник, содержащий изображение реки; однако такой способ не является географически корректным. Другой вариант – определение геометрического места точек (ГМТ), удаленного от линии реки на расстояние, не больше заданного. Этот способ влечет большие вычислительные затраты, связанные как с определением данного ГМТ, так и с вычислением коэффициента густоты. Кроме этого, в обоих случаях приходится считать коэффициент густоты для одной и той же местности несколько раз в процессе вычисления цензов для различных рек.

На наш взгляд, наиболее эффективным решением проблемы является предварительное разбиение пространства карты на участки с различной густотой речной сети. Одним из

способов хранения информации о таком разбиении является структура данных, называемая *квадротомическим деревом*, или *квадродеревом* (англ. quadtree) [1, 10–13].

Квадродеревья определяют иерархическую структуру, организованную по принципу рекурсивного разбиения пространства. Исходная прямоугольная область разбивается на 4 квадранта, каждому из которых ставится в соответствие узел квадротомического дерева (рис. 1). Если для всей области квадранта можно однозначно определить значение параметра, по которому строится квадродерево, то в

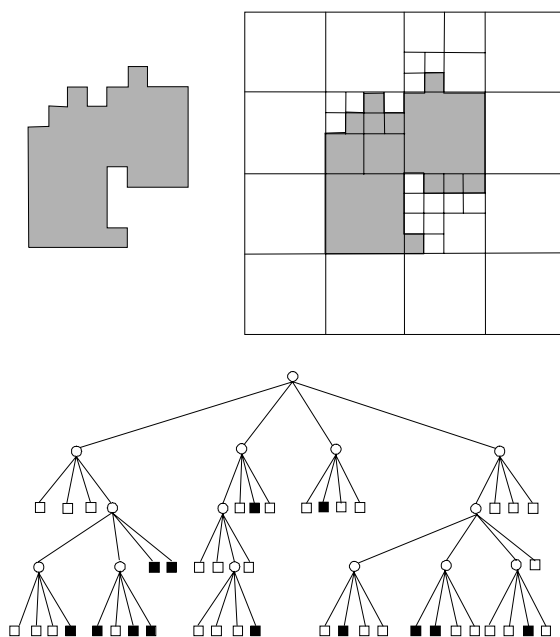


Рис. 1. Квадротомические деревья

соответствующий узел помещается это значение; в противном случае квадрант разбивается еще на 4 и т.д. Процесс продолжается до тех пор, пока не достигнут максимальный уровень разбиения или не определены все значения листовых узлов.

В случае квадротомического дерева, отображающего густоту речной сети, определяющим параметром является номер уровня градации коэффициента густоты заданной области согласно данным таблицы. Пространство карты разбивается на прямоугольные участки, однородные по густоте (рис. 2). Процесс такого разбиения включает в себя следующие шаги:

1. Вычисляются размеры прямоугольной области, внутри которой находятся все объекты карты.

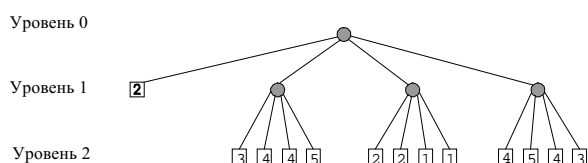
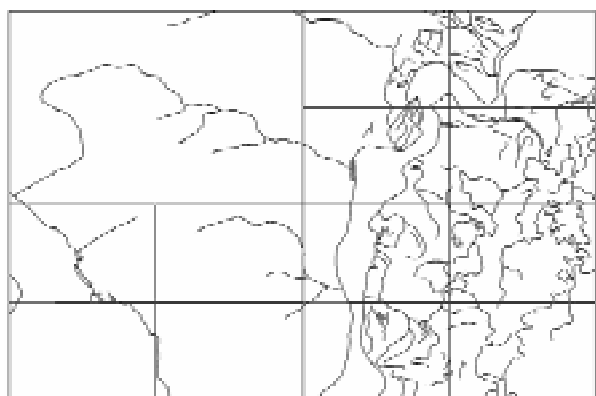


Рис. 2. Разбиение пространства карты с помощью квадродерева

2. Определяется максимальная глубина разбиения N . Чем больше данное число, тем точнее квадродерево передает густоту речной сети, однако и больше времени уходит на его обработку.

3. Исходная область карты, соответствующая корневому узлу квадродерева, разбивается на 4 равные части, соответствующие потомкам данного узла. Процесс повторяется для каждого из потомков N раз. В итоге область карты оказывается разбитой на 4^N равных базовых прямоугольников.

4. Для каждого из базовых прямоугольников определяется, какие реки через него проходят. Изначально для каждой реки проверяется необходимое условие – пересечение минимального прямоугольника, содержащего линейное описание реки, и базового прямоугольника. Если это условие выполнено, то проверяется пересечение отрезков (p_i, p_{i+1}) , составляющих векторное описание реки, с данным прямоугольником. Одновременно оценивается общая длина участков реки, проходящих через базовый прямоугольник. В итоге вычисляется суммарная длина рек, протекающих через него.

5. По формуле (5) подсчитывается коэффициент густоты речной сети области базового прямоугольника. По таблице определяется номер градации (тип речной сети).

6. Если 4 базовых прямоугольника, составляющих узел квадродерева более высокого уровня, имеют одинаковый номер градации, они объединяются в один. Узлы квадродерева, соответствующие этим прямоугольникам, исключаются, а в родительский узел записывается данный номер и средний коэффициент густоты.

7. После того, как выполнен шаг 6 для всех

базовых прямоугольников, операция повторяется для их родительских узлов. При этом в случае, если хотя бы один из 4 узлов еще разбит на части, объединение невозможно. Процесс продолжается до достижения корневого узла (или пока существует возможность объединения узлов).

Построенная структура с заданной точностью отражает распределение густоты речной сети в области карты. Для определения средневзвешенной густоты бассейна реки при отборе необходимо:



Рис. 3. Определение средневзвешенной густоты бассейна реки

1) вычислить длину реки l . При $l > 1,5$ см прекратить рассмотрение, поскольку данная река остается на карте в любом случае;

2) определить, через какие прямоугольники, соответствующие листовым (т.е. не содержащим потомков) узлам, проходит река (рис. 3). Для каждого из них запомнить длину l_i участка реки, протекающего через эту область, и коэффициент густоты области k_i ;

3) вычислить коэффициент средневзвешенной густоты бассейна реки по формуле:

$$t = \sum_{i=1}^n \frac{l_i k_i}{l}, \quad (6)$$

где n – количество прямоугольных областей, через которые протекает река.

Основным достоинством квадродеревьев является возможность с их помощью описывать сколь угодно сложные пространственные области при незначительных затратах памяти ЭВМ. Иерархическая организация структуры квадродеревьев позволяет осуществлять эффективный доступ к данным. Это становится особенно важным при решении задачи нахождения густоты речного бассейна, требующей больших вычислительных затрат. Более того, при небольшой глубине разби-

ния в узлах квадродерева можно хранить информацию о том, какие реки протекают через соответствующий участок и какова длина линии, лежащей внутри него. Это позволяет выполнять одну из наиболее трудоемких операций по вычислению длины линии рек (общей и на отдельных участках) всего один раз – во время построения квадротомической структуры.

Как показали исследования, погрешность в оценке коэффициента густоты речного бассейна

заданной реки при использовании квадротомических деревьев по сравнению с вышеописанным методом нахождения ГМТ составляет не более $0,1 - 0,2$ км/км² на самых густых участках карты. Данные факты позволяют говорить о том, что метод вычисления средневзвешенной густоты речного бассейна с применением квадродеревьев является наиболее эффективным при автоматическом выполнении нормативного отбора.

Литература

1. Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. М., 1993.
2. Хорев А.Г. Разработка инструментальных средств для создания традиционных и объектно-ориентированных геоинформационных систем: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1997.
3. Берлянт А.М., Мусин О.Р., Собчук Т.В. Картографическая генерализация и теория фракталов. М., 1998.
4. Справочник по картографии. М., 1988.
5. Тикунов В.С. Моделирование в картографии: Учебник. М., 1997.
6. Topfer F. Kartographische Generalisierung. Gotha-Leipzig, 1974.
7. Srnka E. The Analytical Solution of Regular Generalization in Cartography // Int'l Yearbook of Cartography. 1970. Vol. X.
8. Гараевская Л.С., Малюсова Н.В. Практическое пособие по картографии. М., 1976.
9. Билич Ю.С., Васмут А.С. Проектирование и составление карт: Учебник для вузов. М., 1984.
10. Лавров Е.И. Использование квадродеревьев для представления картографических данных в Internet // Проблемы устойчивого развития общества и эволюция жизненных сил населения России на рубеже XX-XXI веков: Тез. докл. междунар. конф. Барнаул, 1997.
11. Жилин С.И., Лавров Е.И., Шибких А.А. О представлении растровых картографических данных в World Wide Web // Современная картография в развитии Алтайского региона: Тез. докл. междунар. научно-практ. конф. Барнаул, 1997.
12. Лавров Е.И. Преобразование растровых и векторных изображений в формат квадротомических деревьев // Материалы первой математической алтайской конференции/ Под ред. Ю.Г. Решетняка. Барнаул, 1998.
13. Samet H. The Design and Analysis of Spatial Data Structures/Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Reading, 1990.