

УДК 681.3

В.В. Буча, С.В. Абламейко

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь
bucha@newman.bas-net.by

Математическая морфология на сжатом бинарном растре: применение в ГИС*

Для повышения точности объединения связных компонент картографических объектов и скорости выполнения операций математической морфологии (ММ) предлагается модель сжатого бинарного растра. На данной модели операции ММ выполняются значительно быстрее по сравнению с традиционной реализацией на основе булевой свертки с изображением.

Введение

Перед решением любой задачи по анализу цифровых картографических данных необходимо сначала эти данные получить и представить их в формате используемой ГИС. Одним из самых эффективных способов получения цифровой модели местности является полное или частичное помещение цифрового растрового картографического изображения в память ЭВМ с последующей векторизацией и распознаванием [1].

Особенностью картографических изображений является то, что картографические объекты накладываются друг на друга. Поэтому при сегментации цветных картографических карт могут возникать нежелательные ситуации, усложняющие процесс интерпретации: разрывы между объектами и появление лишних объектов, не принадлежащих слою [2].

Первая ситуация обычно решается с помощью методов математической морфологии (ММ). Вторая ситуация решается на этапе интерактивной векторизации [2]. Простейшие операции ММ, замыкание и отмыкание, позволяют устранять разрывы между объектами, однако могут приводить к нежелательному в ГИС искажению формы объектов.

Для объединения связных компонент картографических объектов предлагается улучшенный алгоритм, состоящий из следующих этапов: вычисление потенциальной области объединения Z , покомпонентная операция замыкания и логическое объединение результатов.

Предлагаемая модель сжатого бинарного растра и алгоритм объединения связных компонент позволяет достичь более высокой точности и скорости векторизации картографических объектов, что является одной из важнейших задач при подготовке цифровых данных для ГИС.

* Результаты работы были частично поддержаны проектом ИНТАС-04-77-7067.

Модель сжатого бинарного растра

Зачастую бинарное изображение кодируется в памяти ЭВМ с помощью дискретной матрицы $a[x, y]$, каждый элемент которой принимает значения 0 или 1. Однако такое представление обладает следующими недостатками: низкая скорость доступа к пикселям; неоправданно большой расход памяти при кодировании связанных компонент с привязкой к исходному растру; операции свертки с изображением основываются на идее скользящего окна, что приводит к необходимости вычислений каждого пикселя результирующего изображения.

Эффективной альтернативой является метод одномерного кодирования длин серий [3], который позволяет снизить объем оперативной памяти, кодировать только необходимую часть изображения. Основная идея модели сжатого бинарного растра состоит в том, что при сканировании строки слева направо обнаруживаются непрерывные серии из нулей и единиц, которые затем кодируются кодом их длины.

Объектным диапазоном V будем называть пару точек $P_b(x_1, y_1)$ и $P_e(x_2, y_2)$, задающих координаты начала и конца серии пикселей объекта (0 или 1 в зависимости от принятых правил). Для упрощения модели положим, что всегда выполняются условия $x_1 \leq x_2$ и $y_1 = y_2$. Другими словами, объектный диапазон кодирует горизонтальную серию пикселей объекта. Набор объектных диапазонов V_1, V_2, \dots, V_n и заданная система координат задают сжатое бинарное изображение.

Математическая морфология на сжатом растре

В научной литературе [3] морфологические операции рассматриваются с позиции булевой свертки. Однако операцию свертки необходимо полностью выполнять для каждой позиции структурирующего элемента. При увеличении размеров структурирующего элемента и/или изображения значительно возрастает вычислительная сложность операции ММ.

Основная идея выполнения операций ММ на сжатом растре заключается в получении морфологического «следа» для каждого объектного диапазона с последующим суммированием или вычитанием на сжатом растре. Будем называть морфологическим следом Λ структурирующего элемента B и объектного диапазона V результат дилатации:

$$\Lambda(V, b) = V \otimes B.$$

Операцию дилатации можно представить в идее последовательного движения структурирующего элемента B вдоль горизонтальной линии, задаваемой объектным диапазоном V . Если объектный диапазон $V(P_b, P_e)$ задает горизонтальную линию и b представлено в виде набора объектных диапазонов $I = \{V_1, V_2, \dots, V_{bn}\}$, то морфологический след может быть рассчитан как удлинение всех объектных диапазонов, принадлежащих B , на величину, равную длине $V(P_b, P_e)$, и перенос результата в точку P_b :

$$\Lambda(V, B) = B \otimes V = \{(w)_{P_b} \mid w = V \diamond L, V \in I\},$$

где \diamond – функция, удлиняющая набор $V(P_b, P_e)$ на расстояние $L = dist(P_b, P_e)$.

Для бинарного изображения I , состоящего из набора объектных диапазонов $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, и структурирующего элемента B результат дилатации может быть определен как сумма соответствующих морфологических следов:

$$I \otimes B = \sum_{i=1}^n \Lambda(V_i, B).$$

Дилатация и эрозия являются двойственными операциями по отношению к теоретико-множественным операциям дополнения и центрального отражения. Таким образом, результат эрозии может быть получен с помощью операции дилатации по следующей формуле:

$$A \ominus B = A \setminus (\partial A^c \otimes B),$$

где « \setminus » – операция разности двух множеств, ∂A представляет собой контур объекта A и его внутренних частей.

Объединение связных компонент

Пусть S_1 и S_2 – связные компоненты, которые необходимо объединить с помощью критерия расстояния между границами ∂S_1 и ∂S_2 . Если S_1 и S_2 принадлежат одному и тому же бинарному растру A , то операция замыкания дает следующий результат (рис. 1, б). Черным цветом на рис. 1, б изображены пиксели, добавленные в результате замыкания. Как можно заметить, произошло объединение двух связанных компонент, но были искажены и границы объектов.

Предположим, что связные компоненты S_1 и S_2 принадлежат двум разным бинарным растрам A_1 и A_2 соответственно. Чтобы не исказить границы связных компонент, найдем потенциальную область объединения компонент Z . За эту область примем результат пересечения результатов дилатаций бинарных растров A_1 и A_2 :

$$Z = (A_1 \otimes B) \cap (A_2 \otimes B).$$

Область объединения Z используется в качестве маски, которая ограничивает действие операции замыкания, которая используется для объединения A_1 и A_2 по следующей формуле: $A_1 \Xi A_2 = (A \bullet B) \cap Z$, где $A = A_1 \cup A_2$.

Скомбинировав результат объединения связных компонент $A_1 \Xi A_2$ со связными компонентами A_1 и A_2 , получим результирующую связную компоненту $C = A_1 \cup A_2 \cup (A_1 \Xi A_2)$. Размеры структурирующего элемента B позволяют регулировать процесс объединения. Чем больше структурирующий элемент, тем большие разрывы между компонентами могут быть устранены. На рис. 1, в представлен результат неискажающего объединения связных компонент, представляющих элементы площадного картографического объекта.

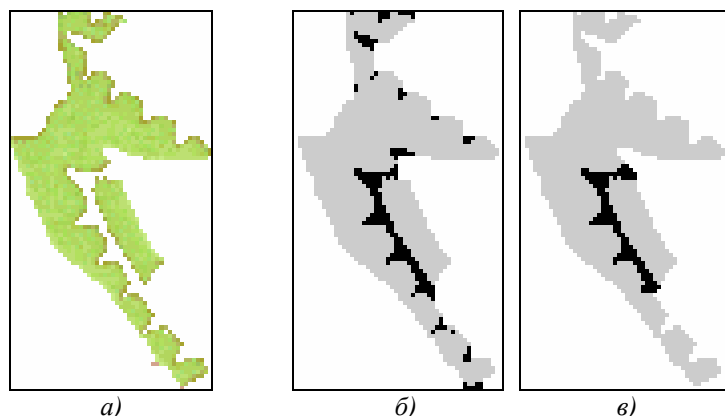


Рисунок 1 – Связные компоненты (а); результат замыкания (б) и предлагаемый подход (в)

Заключение

В отличие от традиционных подходов предлагаемый подход позволяет избегать искажений как внешних, так и внутренних границ объектов в процессе векторизации цветных картографических объектов, производя объединение связанных компонент лишь в необходимых местах. Тем самым обеспечивается высокая точность получаемых результатов.

При использовании сжатого бинарного растра кодируются только объектные пиксели, и сжатое бинарное изображение может динамически увеличивать и уменьшать свои физические размеры простым добавлением/удалением объектных строк и диапазонов. Данный факт позволяет значительно снизить затраты памяти (от 2 до 100 раз) при представлении и обработке больших картографических изображений и в 10 – 100 раз увеличить скорость выполнения операции ММ.

Литература

1. Абламейко С.В., Апарин Г.П., Крючков А.Н. Географические информационные системы. Создание цифровых карт. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000.
2. Буча В.В., Абламейко С.В. Выделение и векторизация линейных объектов на цветных картографических изображениях // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат навук. – 2005. – № 1. – С. 98-105.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Москва: Техносфера, 2005.

В.В. Буча, С.В. Абламейко

Математична морфологія на стисненому бінарному растрі: використання в ГІС

Для підвищення точності об'єднання зв'язних компонент картографічних об'єктів і швидкості виконання операцій математичної морфології (ММ) пропонується модель стисненого бінарного растра. На цій моделі операції ММ виконуються значно швидше порівняно з традиційною реалізацією на основі булевої згортки із зображенням.

V.V. Bucha, S.V. Ablameyko

Mathematical Morphology on Compressed Binary Representation: Application to GIS

Compressed binary representation is proposed for connected components merging and fast mathematical morphology (MM). Mathematical morphology operations run considerably faster on proposed representation in comparison with MM based on Boolean convolution. In addition, significantly improved accuracy of cartographic object extraction is achieved.

Статья поступила в редакцию 26.04.2006.