

УДК 681.142.2

Д.А. КОЧКАРЬ¹, В.В. БОГОМОЛОВ², А.В. ОСТАПЧИК², А.А. ОРЕХОВ³¹Научно-производственное предприятие «Лесинформ», Харьков, Украина²Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого, Харьков, Украина³Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЦИФРОВОЙ ЛЕСНОЙ КАРТЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЛАНАРНОГО ГРАФА

Рассмотрены элементы анализа правильного планарного графа, включающие формирование полигонов на основе ребер графа, диагностику точечных и линейных шарниров. Вводится понятие простого связного графа как элементарной топологической составляющей лесной карты. Рассматриваются отношения принадлежности и вложенности полигонов и их идентификации с помощью внутренних точек. Обозначены перспективы выполнения пространственных запросов для расчета площадей и построения производных полигонов.

Ключевые слова: планарный граф, узлы, рёбра и циклы графа, связность, отношение эквивалентности рёбер, отношение вложенности циклов.

Введение

В задачах картографии используются различные инструменты для векторизации растровых изображений. Например, это мощная и многофункциональная геоинформационная система Smallworld (далее ГИС), которая может удовлетворить все запросы картографии [1]. Однако существенным препятствием для ее распространения является большая стоимость лицензии на данный программный продукт, поэтому для векторизации малых и средних размеров карт часто используются более доступные, менее дорогостоящие программы, в частности, программа Mapinfo [2, 3].

Недостатком этой программы является трудоемкость и большое количество ручного труда при стыковке различных элементов – точек, полилиний, многоугольников, а также ручное построение полигонов для дальнейшей аналитической обработки – вычисления площадей разных регионов (полигонов, кварталов и выделов на картах лесов).

При таком подходе вносится множество ошибок, часто весьма тяжело поддающихся исправлению, что затрудняет решение задачи и снижает производительность процесса векторизации карт.

Цель статьи разработка метода и алгоритма, позволяющих исключить значительную часть рутинной работы при построении полигонов, анализе графа, нахождении и устранении ошибок построения графа карты.

1. Входные данные

Входные данные алгоритма учитывают специфику лесных карт, используемых для ведения лесного хозяйства.

Принимаются три вида полилиний: простое ребро графа (а), простой независимый цикл (б), простой цикл, соединенный с графом «точечным шарниром» (в) (рис. 1). Входные полилинии нигде не соприкасаются и не пересекаются, а соединяются в узлах графа, формируя тем самым правильный планарный граф, или граф, который укладывается в плоскость.

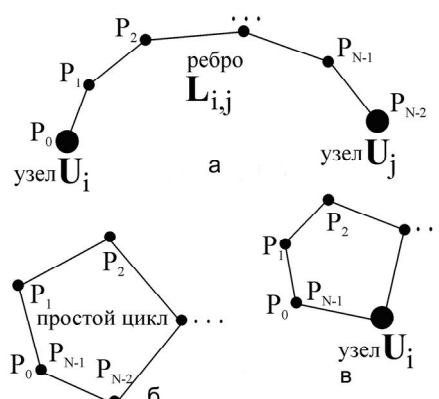


Рис. 1 Элементы правильного планарного графа: а – ребро графа; б – независимый цикл; в – цикл графа на шарнире

Все узлы графа имеют инцидентность больше двух, то есть в каждом узле графа встречаются как минимум три отрезка полилиний. Ребра планарного графа представляют собой упорядоченное множество точек плоскости, что задает на них направление и полученный граф является ориентированным планарным графом.

Таким образом, ребра графа образуют множество полигонов, то есть замкнутых полилиний, либо независимых, либо примыкающих друг к другу по общему ребру, либо соединенных с графом «точечными шарнирами» или «линейными шарнирами» (о шарнирах см. ниже). Ребра, примыкающие к узлам с инцидентностью 1 или 2, из рассмотрения исключаются, что связано именно со спецификой картографического материала. Задачи, решаемые с помощью данного алгоритма:

- 1) автоматический анализ полученного графа;
- 2) построение полигонов (лесохозяйственные кварталы и выделы);
- 3) идентификация этих полигонов (присвоение адресной части, указывающей на принадлежность к области, лесхозу, лесничеству, кварталу и выделу);
- 4) выявление ошибок векторизации;
- 5) определение пространственных отношений элементов графа – узлов, ребер, полигонов;
- 6) предоставление информации по пространственным запросам.

2. Анализ графа

Цель анализа графа состоит в представлении исходного графа в виде объединения элементарных составляющих, которые затем могут быть исчерпывающим образом обработаны для построения всех полигонов и обнаружения ошибок.

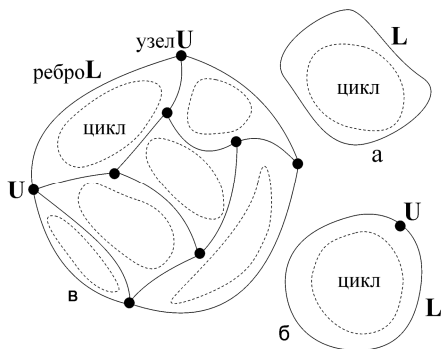


Рис. 2. Разновидности связного планарного графа.

В данной задаче такими составляющими являются простые связные планарные графы. Связность предполагает наличие в графе хотя бы одного пути между любыми двумя узлами графа, причем граф не должен содержать «линейные шарниры» или «точечные шарниры». «Шарниры» (рис. 3) (точечные

или линейные) представляют собой узлы или ребра графа, при удалении которых связный граф теряет свою связность, то есть распадается на несколько связных независимых частей.

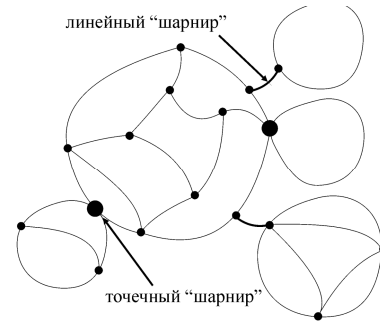


Рис. 3 Связный планарный граф, содержащий шарниры

Простой связный планарный граф в общем случае (рис. 2, в) представляет собой множество полигонов (циклов), составленных из ребер графа и примыкающих друг к другу на плоскости без наложений. В частном случае – это одно замкнутое ребро, независимое от других частей графа (рис. 2, а) или присоединенное к ним «шарнирами» (рис. 2, б).

Связный планарный граф рассматривается как множество простых связных графов, соединенных точечными или линейными «шарнирами».

И, наконец, общий планарный граф, являющийся исходным объектом анализа, это объединение связных планарных графов (рис. 4).

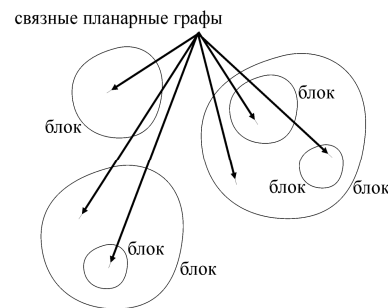


Рис. 4. Общий планарный граф

2.1. Алгоритм разбиения графа на связные части

Два ребра графа, соединенных общим узлом являются инцидентными, отношение инцидентности ребер графа является рефлексивным и симметричным бинарным отношением на множестве ребер общего планарного графа. Расширим это отношение, придав ему свойство транзитивности, то есть будем считать, что если ребро графа инцидентно двум другим ребрам, то эти другие ребра инцидентны между собой (1).

$$\begin{cases} L_i \approx L_j; \\ L_i \approx L_j \rightarrow L_j \approx L_k; \\ L_i \approx L_j \& L_j \approx L_k \rightarrow L_i \approx L_k, \end{cases} \quad (1)$$

где L_i, L_j, L_k – точки плоскости.

Полученное бинарное отношение является отношением эквивалентности на множестве ребер общего планарного графа и разбивает множество ребер на непересекающиеся классы эквивалентности, каждый из которых представляет собой связный планарный граф. Таким образом, получаем представление общего планарного графа как объединения связных независимых друг от друга планарных графов.

Применяя алгоритм разбиения графа к связным частям, можно найти все «шарниры», как точечные, так и линейные. Поочередно, исключая ребра графа, применяем к множеству ребер графа алгоритм разбиения без этого ребра. Если число связных частей графа увеличивается, то данное ребро является «линейным шарниром». Как правило «линейные шарниры» это ошибки векторизации, которые исправляются до тех пор, пока входной планарный граф их содержит. Исключая из рассмотрения поочередно один узел графа, найдем все «точечные шарниры».

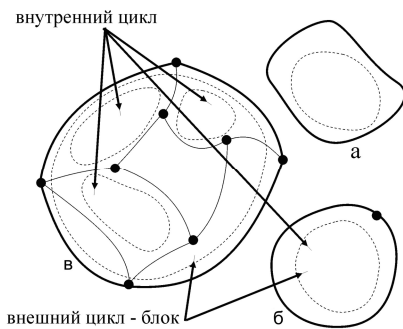


Рис. 5. Циклы простого связного графа

Таким образом, результатом данного алгоритма является множество простых связных графов без «линейных шарниров», которое и подвергается дальнейшей обработке (рис. 5).

2.2. Построение циклов графа

Чтобы построить циклы (полигоны) графа, для каждого узла графа производится упорядочивание ребер, соединяющихся в этих узлах. Упорядочивание производится в порядке возрастания угла между примыкающим к узлу сегментом ребра и осью X декартовой системы координат против часовой стрелки. Таким образом, каждое ребро простого связного графа имеет следующее по порядку ребро, инцидентное данному в конечном узле данного ребра, и предыдущее, инцидентное данному в начальном узле данного ребра.

Делая последовательно обход от данного ребра в прямом и в обратном направлении, получаем два цикла: правый и левый. Таким образом, ребро получает ссылку на два полигона, граничащие между собой по этому ребру. Такое построение выполняется последовательно для всех ребер простого связного графа, исключая те, которые уже ссылаются на ранее построенные полигоны.

Алгоритм построения циклов графа поочередно применяется ко всем простым связным графам, составляющим общий планарный граф. В результате получаем все множество элементарных циклов (внутренних циклов) с односвязной границей (то есть циклов топологически эквивалентных окружности на плоскости) общего планарного графа.

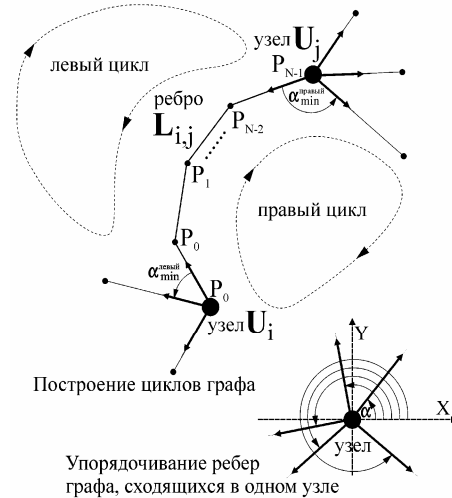


Рис. 6. Элементы построения циклов графа

Кроме этого, получаем полигоны, именуемые блоками, которые являются внешней границей простого связного планарного графа.

2.3. Вложенность и принадлежность полигонов

Имея все множество элементарных циклов общего планарного графа, можно продолжить анализ графа. Для этого введем три отношения между элементарными полигонами с односвязной границей.

Первое отношение есть отношение частичного порядка – вложенность одного полигона в другой. Полигон вложен в другой полигон, если все его точки, за исключением может быть одной, лежат внутри объемлющего полигона.

На основании этого отношения введем отношение непосредственной вложенности, то есть полигон P_i непосредственно вложен в P_j , но не в P_k , а полигон P_i непосредственно вложен в P_k . Это бинарное отношение на множестве элементарных полигонов (уже не являющееся отношением порядка) позволяет построить общие полигоны с многосвязными границами, то есть вырезать дыры в полиго-

нах. Дырами являются полигоны, непосредственно вложенные в данный.

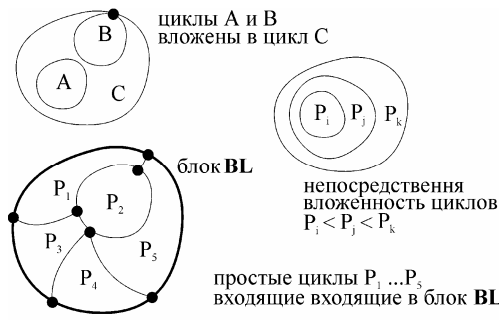


Рис. 7. Отношение вложенности и непосредственной вложенности полигонов

Чтобы правильно построить отношение вложенности, необходимо ввести еще одно бинарное отношение на множестве элементарных полигонов графа – отношение принадлежности полигона другому полигону. Полигон P принадлежит полигону Q, если хотя бы одно его ребер совпадает с ребром Q, или совпадает с ребром другого полигона, принадлежащего полигону Q. То есть множество полигонов, примыкающих друг к другу по ребрам, образуют полигон, являющийся их внешней границей – этот полигон называется блоком. При введении отношений вложенности и непосредственной вложенности полигонов из рассмотрения исключаются полигоны, принадлежащие блокам, а используются только независимые циклы, циклы на «точечном шарнире», а также блоки, как независимые, так и соединенные с графом «точечным шарниром».

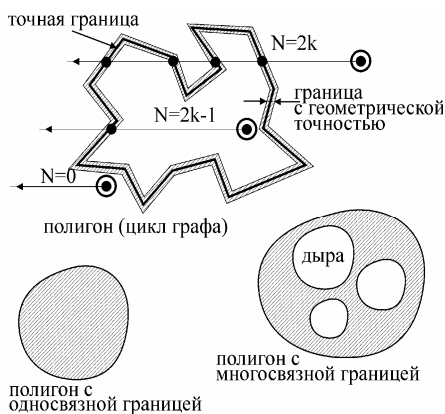


Рис. 8. Определение принадлежности точки полигону с учетом геометрической точности

Для выяснения относительного положения точек плоскости и полигонов используется известный алгоритм подсчета числа пересечений луча, исходящего в одну сторону из точки (в данном случае влево) и параллельного оси X декартовой системы координат, с границей полигона. Если это число четно или равно нулю, то точка находится вне полигона, если нечетно,

то данная точка лежит внутри полигона. Поскольку оцифровка и векторизация растров карт ведется с некоторой точностью, обычно 1 - 3 метра, то алгоритм расширен, а именно – сначала выясняется, не попадает ли обрабатываемая точка с геометрической точностью на контур полигона, если нет, то используется описанный алгоритм уже с абсолютной точностью (рис. 8).

2.4. Идентификация полигонов

При векторизации лесных карт все полигоны идентифицируются номерами с помощью так называемых центров – объектов программы MapInfo, являющихся точками плоскости с атрибутами идентифицирующими полигон, внутрь которого центр поставлен. Представленный алгоритм осуществляет полный контроль множества полигонов по отношению к центрам. Если центр не попадает в границы графа или с геометрической точностью попадает на ребро графа, то это воспринимается как ошибка. Полигоны, оставшиеся вообще без центров, помечаются как ошибочные и возвращаются в среду Mapinfo для исправления (рис. 9). Эта ситуация может быть вызвана ошибочными действиями оператора или появлением «лишних», не предусмотренных в соответствии с целью векторизации полигонов, как правило малых размеров и невидимых в масштабе работы по векторизации, например, при неточной стыковке линий. Такие ошибки весьма трудны для исправления в среде Mapinfo, но при расчете площадей полигонов могут вносить погрешности.

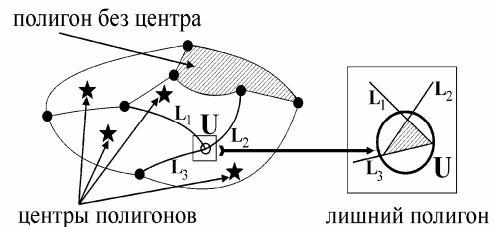


Рис. 9. Ошибочные полигоны

Все «лишние» полигоны помечаются как ошибочные и передаются для исправления, что полностью избавляет оператора от поиска таких полигонов визуально.

2.5 Пространственные запросы

В процессе анализа и обработки входных данных строится правильный планарный граф и отношения между элементами графа, а именно, между ребрами, узлами, полигонами и центрами, что позволяет выполнять различные пространственные запросы. Каждое ребро графа имеет ссылки на полигоны, границей которых оно является. Полигоны, имеющие общие ребра, можно рассматривать как

смежные. Смежные полигоны, имеющие общий признак, могут быть объединены в один полигон. Эта особенность может быть использована в картографии для специальных разбиений плоскости или при составлении тематических карт.

Алгоритм разбиения графа на связные части принципиально позволяет вычлени из графа связанное подмножество ребер по какому-либо признаку, то есть игнорируя ребра, не имеющие этого признака. Также алгоритм принципиально позволяет находить пути между узлами, что может быть использовано при расчете кратчайших путей для отгрузки и вывоза древесины.

Заключение

Подводя итог, можно сказать, что выбранный подход к решению задачи автоматизации работ по векторизации картографических материалов себя оправдал. Исходя из правильного общего планарного графа, подготовленного программой обработки полилиний [4], путем последовательного разложения его на простейшие составляющие можно исчерпывающим образом проанализировать и обработать

его и практически полностью автоматизировать работу картографа и инженера-таксатора.

Литература

1. Шеймос П. Вычислительная геометрия / П. Шеймос. – М.: Мир, 1989. – 442 с.
2. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. – М.: Мир, 1978. – 583 с.
3. Погорелов А.В. Аналитическая геометрия / А.В. Погорелов. – М.: Просвещение, 1968. – 176 с.
4. Кочкарь Д.А. Алгоритм формирования планарного графа при подготовке цифровых лесных карт / Д.А. Кочкарь, В.В. Богомолов, А.В. Остапчик // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2008. - 6(33). – С. 34-39.
5. Богомолов В.В. Автоматизація процесу розрахунків та ув'язки площ виділів при обробці матеріалів лісовпорядкування засобами ГІС / В.В. Богомолов, С.І. Костяшкін, Т.А. Кочнева, О.О. Куценко, О.В. Остапчик, О.А. Сорокоумов // *Лісівництво і агролісомеліорація.* – Х.: УкрНДЦЛГА. – 2004. – Вип. 105. – С. 39-46

Поступила в редакцію 12.02.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой вычислительных систем и сетей В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Хуковского «ХАИ», Харьков.

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ ЦИФРОВОЙ ЛЕСНОЙ КАРТЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЛАНАРНОГО ГРАФУ

Д.А.Кочкарь, В.В.Богомолов, О.В. Остапчик, О.О. Орехов

Розглянемо елементи аналізу правильного планарного графу, що включають формування полігонів на основі ребер графу, діагностику точкових та лінійних шарнірів. Вводиться поняття простого зв'язаного графу як елементарної топологічної складової лісової карти. Розглядаються відношення приналежності та вкладеності полігонів та їх ідентифікації за допомогою точок. Означені перспективи виконання просторових запитів для розрахунку площ і побудови похідних полігонів.

Ключові слова: планарний граф, вузли, ребра і цикли графу, зв'язність, відношення еквівалентності ребер, відношення вкладеності циклів.

FORMATION TOPOLOGICAL RELATIONS BETWEEN THE GEOMETRIC OBJECTS OF DIGITAL FOREST MAPS ON BASIS OF PLANAR GRAPHS ANALYSIS

D.A. Kochar, V.V. Bogomolov, A.V. Ostapchik, A.A. Orehov

Elements of the analysis of the correct planar graph, including formation of polygons on the basis of edges of the graph, diagnostics of point and linear hinges are considered. The concept of the simple connected graph as a basic topological item making forest map is entered. Relations of belonging and an enclosure of polygons and their identification by means of internal points are considered. Perspectives of performance of spatial inquiries for calculation of area and construction of derivative polygons are designated.

Key words: planar graph, nodes, edges and cycles of the graph, the connectivity, the ratio of equivalence edges, the ratio of nesting cycles

Кочкарь Дмитрий Анатольевич – директор научно-производственного предприятия „Лесинформ”, Харьков, Украина, e-mail: lesinform@tms.org.ua.

Богомолов Вадим Владимирович – с.н.с. Украинского НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н.Высоцкого, Харьков, Украина, e-mail: bvv_92@rambler.ru.

Остапчик Александр Васильевич – старший научный сотрудник Украинского НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н.Высоцкого, Харьков, Украина.

Орехов Александр Александрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры СКС НАКУ «ХАИ» Харьков, Украина, e-mail: A_Orehov@rambler.ru.