

задач распознавания образов, заключающуюся в корректном составлении цепочек из компонент, являющихся составными частями распознаваемых скелетизированных образов. При этом важным преимуществом нейроподобных сетей является свойство их обучения, необходимое для выработки адекватного решения по выделению синтезированных компонент, состоящих из последовательно расположенных ТЕ. Это обеспечивается определением относительной важности признаков (метрических, аналитических и пр.) анализируемых ТЕ путем сравнения их весовых коэффициентов и учета взаимосвязей между выбранными признаками. Способность системы нейроподобных сетей к обучению может существенно сократить неопределенность связности дискретных компонент, которая носит случайный характер и обусловлена особенностями формы (выступами, поднутрениями и др.) поверхности объекта оцифровки, а также частичной потерей информации на этапах видеосъемки, предварительной обработки и сегментации видеоизображений.

Таким образом, разработка нейросетевого алгоритма, моделирующего закономерности взаимного расположения скелетизированных компонент, основанного на их признаковом описании, обеспечит корректность и целостность машинной интерпретации изображения объекта оцифровки. Рассмотренные подходы позволяют формализовать и автоматизировать комплекс задач, возникающих в процессе обработки изображений пространственно сложных объектов при их видеооцифровке.

Список использованных источников

1. Свирский Д. Н., Полозков Ю. В. Создание трехмерных цифровых моделей нерегулярных объектов по их видеоизображениям. // Цифровая обработка изображений. - Мн.: ИТК НАН Беларуси, 2001, вып. 5. С.33 – 38.
2. Самошкин М. А. Автоматизация преобразования и обработки графической информации. - Мн.: Навука і тэхніка, 1991. – 335 с.
3. WWW.mari-el.ru/mmlab/home/AI.
4. Абламейко С. В., Лагуновский Д. М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Учебное пособие. – Мн.: Амалфея, 2000. – 304 с.
5. Фор А. Восприятие и распознавание образов / Пер. с фр. А. В. Серединского; под ред. Г. П. Катуса. – М.: Машиностроение, 1989 – 272 с.

SUMMARY

The problem of raster images processing automation in videodigitizing process is considered. The features of segmentation and analysis slices of these images are shown. The traditional 2D machine vision methods are described. The combined method is offered to automate raster images identification stage in irregular objects videodigitizing process. It is based on principles of artificial neural nets construction.

УДК 621.3.049.73.75:001.2(024)

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ МЕТОД РАЗРЕЗАНИЯ ГРАФА С МИНИМИЗАЦИЕЙ ВНЕШНИХ СВЯЗЕЙ

А.С. Шандриков

Проектирование радиоэлектронных средств (РЭС) начинается с решения задачи компоновки модулей в определённые конструктивные единицы. Для решения этой задачи принципиальная электрическая схема проектируемого РЭС заменяется математической моделью в виде графа $G = (X, U)$, множество вершин которого X интерпретирует радиоэлектронные компоненты (РЭК), а множество рёбер U — связи между ними. Использование графа в качестве модели принципиальной электрической

ской схемы позволяет математически сформулировать задачу компоновки как задачу разрезания графа на требуемое количество кусков с заданным количеством вершин в каждом из них.

В качестве основного критерия оптимальности разрезания графа чаще всего используют минимум соединительных рёбер между полученными кусками графа, другими словами — минимум внешних связей.

Для разрезания графа на куски разработан ряд эвристических методов. На практике в основном используются последовательные, итерационные и смешанные методы. Последовательные методы являются наиболее простыми и наименее трудоёмкими, что делает более привлекательным их практическое применение. Суть всех последовательных методов заключается в следующем: в исходном графе $G = (X, U)$ по определённому критерию выбирается начальная вершина $x_i \in X$ формируемого куска $G_k = (X_k, U_k)$, а затем строится множество Γx_i , в которое входит выбранная вершина x_i и все смежные ей вершины. Если $|\Gamma x_i| = |X_k|$, то формирование куска G_k считается законченным. В других случаях по определённым правилам в кусок G_k либо добавляется недостающее количество вершин, либо из этого куска удаляются лишние вершины. По окончании формирования куска G_k множество вершин X_k и множество инцидентных им рёбер U_k удаляются из исходного графа G . В результате будет получен граф $G^* = (X^*, U^*)$, где $X^* = X \setminus X_k$, $U^* = U \setminus U_k$. Из графа G^* формируется следующий кусок G_{k+1} и т.д. Описанные действия повторяются до тех пор, пока граф G не будет разрезан на заданное количество кусков.

Все последовательные методы очень просты, легко реализуются на ЭВМ и являются самыми производительными, но полученные результаты в большинстве случаев далеки от оптимальных. Причина этого недостатка заключается в жёстком формальном подходе к формированию кусков только по заданному количеству вершин при отсутствии анализа каждой вершины множества X_k на связность с другими вершинами внутри и за пределами формируемого куска. Минимизация внешних связей при необходимости производится, как правило, каким-нибудь итерационным методом, что существенно снижает производительность компоновки.

В данной работе описывается эвристический метод разрезания графа путём поэтапного назначения вершин в формируемый кусок, разработанный автором при написании программы, выполняющей автоматизированную компоновку последовательными и итерационными методами, а также размещение РЭК. На каждом этапе в формируемый кусок назначается одна вершина. Затем строится множество вершин, смежных только что назначенной вершине, и из него выбирается следующая вершина. Критерием выбора очередной назначаемой вершины является минимум приращения внешних связей, вносимых вершиной в формируемый кусок. Данная процедура продолжается до окончания формирования куска, после чего из исходного графа удаляются вершины, вошедшие в сформированный кусок, и начинается процесс формирования следующего куска.

Кроме описанного принципа формирования куска данный метод предусматривает более гибкий подход к разрезанию графа на неравные по количеству вершин куски. При разрезании графа G , например, на три куска по 3, 4 и 5 вершин, формирование первого куска в применяемых последовательных методах заканчивается при выполнении условия $|X_1| = 3$, второго — при $|X_2| = 4$ и третий кусок формируется автоматически из оставшегося множества вершин $X_3 = X \setminus (X_1 + X_2)$. В описываемом методе с целью минимизации внешних связей непосредственно в процессе разрезания графа выполнение условия $|X_1| = 3$ воспринимается не как окончание формирования первого куска, а только как один из возможных его вариантов. Назначение вершин в первый кусок будет продолжено с тем, чтобы получить и проанализировать все остальные варианты, т.е. $|X_1| = 5$ и $|X_1| = 7$. В результате анализа из трёх полученных вариантов выбирается наилучший. Критерием для выбора окончательного варианта первого куска будет служить максимум коэффициента разрезания графа $\Delta(G)$. Используя аналогичный подход к формированию второго и третьего

кусков, можно получить иной результат разрезания графа, например, $|X_1| = 5$, $|X_2| = 7$ и $|X_3| = 3$. Такой подход к формированию кусков обеспечивает минимизацию внешних связей непосредственно в процессе разрезания графа. Формально приведенный результат отличается от заданного, но **принципиально** не имеет значения, какой именно кусок содержит то или иное заданное количество вершин, то есть принципиально полученный результат удовлетворяет заданным требованиям. Отличие полученного результата от заданного разрезания заключается только в изменении номеров (индексов) сформированных кусков.

При решении конкретных задач необходимо учитывать конструктивные ограничения по закреплению отдельных вершин за определёнными кусками. Для соблюдения таких ограничений сначала следует распределить по кускам заданные вершины, а уже потом поэтапно назначать в куски недостающие вершины.

Перед разрезанием графа следует определить разноуровневые критерии выбора начальной и последующих вершин в формируемый кусок. Разработка системы критериев необходима для устранения неопределённости, которая неизбежно возникает в том случае, если заданному критерию удовлетворяет более одной вершины. В такой ситуации не принципиально, которую из вершин выбрать, но для реализации компоновки с использованием ЭВМ в алгоритме необходимо устранить неоднозначность выбора вершины. Для описанного метода разрезания графа с одновременной оптимизацией результата может быть определена следующая система критериев.

Для выбора начальной вершины:

критерий первого уровня — минимальная локальная степень $\rho(x_i)$;

критерий второго уровня — наибольшее количество петель и (или) кратных рёбер, инцидентных вершинам, удовлетворяющим критерию первого уровня.

Для выбора следующей вершины из множества вершин-кандидатов для назначения в формируемый кусок:

критерий первого уровня — минимальное количество вносимых вершиной-кандидатом внешних связей $\delta(x_j)$. Значение $\delta(x_j)$ определяется как разность между локальной степенью вершины-кандидата $\rho(x_j)$ и количеством связей $z(x_j)$ вершины-кандидата с вершинами, уже назначенными в формируемый кусок:

$$\delta(x_j) = \rho(x_j) - z(x_j) \quad (1)$$

критерий второго уровня — максимальная локальная степень вершины $\rho(x_j)$ из множества вершин-кандидатов, удовлетворяющих критерию первого уровня;

критерий третьего уровня — младший индекс вершины-кандидата, удовлетворяющей критерию второго или первого уровня.

Для выбора окончательного варианта формирования текущего куска:

критерий первого уровня — максимальное значение коэффициента разрезания $\Delta(G_n)$;

критерий второго уровня — максимум внутренних связей $z(G_k)$;

критерий третьего уровня — младший индекс сформированного варианта из числа удовлетворяющих критерию второго или первого уровня.

Разрезание графа предлагаемым методом рассмотрим на примере.

На рис. 1 представлен граф $G = (X, U)$, у которого $|X| = 12$, $|U| = 28$. Требуется разрезать этот граф на 3 куска G_1 , G_2 и G_3 с количеством вершин 4, 3 и 5 соответственно. Какие-либо ограничения по закреплению некоторых вершин за определёнными кусками отсутствуют.

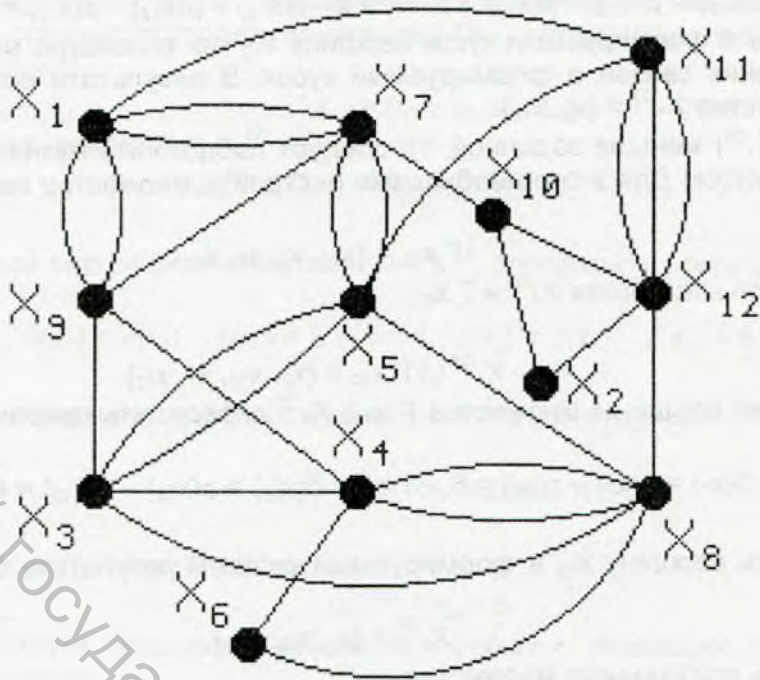


Рисунок 1 - Решение задачи выполняется в следующей последовательности

1. Построить матрицу смежности R и определить локальную степень $\rho(x_i)$ каждой вершины. Значения $\rho(x_i)$ указаны в дополнительном столбце матрицы смежности.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	$\rho(x_i)$
x_1	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	1	0	5
x_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2
x_3	0	0	0	1	2	0	0	1	1	0	0	0	5
x_4	0	0	1	0	0	1	0	2	1	0	0	0	5
x_5	0	0	2	0	0	0	2	1	0	0	1	0	6
x_6	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
x_7	2	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	6
x_8	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	1	6
x_9	2	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
x_{10}	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
x_{11}	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	5
x_{12}	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	3	0	6

2. Выбрать вершину x_i с минимальной локальной степенью. Таких вершин две: x_2 и x_6 у которых $\rho(x_i) = \min = 2$. Эти вершины не имеют петель и кратных ребер, поэтому ни к одной из них нельзя применить критерий второго уровня. В соответствии с принятым критерием третьего уровня выбираем в качестве начальной вершины первого куска вершину x_2 как имеющую младший индекс и в результате получим одноэлементное множество $X_1^{(1)} = \{x_2\}$.

3. Построить множество вершин, смежных начальной вершине x_2 :

$$\Gamma_{x_2} = \{x_2, x_{10}, x_{12}\} \quad (2)$$

4. Для каждой вершины множества $\Gamma_{x_2} \setminus X_1^{(1)}$ определить приращение внешних связей:

$$\delta(x_{10}) = \rho(x_{10}) - z(x_{10}) = 3 - 1 = 2; \quad \delta(x_{12}) = \rho(x_{12}) - z(x_{12}) = 6 - 1 = 5 \quad (3)$$

5. Назначить в формируемый кусок вершину x_{10} как вносящую минимальное количество внешних связей в формируемый кусок. В результате получим двухэлементное множество $X_1^{(2)} = \{x_2, x_{10}\}$.

6. Так как $|X_1^{(2)}|$ меньше заданной, то следует продолжить назначение вершин в формируемый кусок. Для этого необходимо построить множество вершин, смежных вершине x_{10} :

$$\Gamma x_{10} = \{x_{10}, x_2, x_7, x_{12}\} \quad (4)$$

8. Объединить множества $X_1^{(2)}$ и Γx_{10} :

$$X_1^{(2)} \cup \Gamma x_{10} = \{x_2, x_{10}, x_7, x_{12}\} \quad (5)$$

9. Для каждой вершины множества $\Gamma x_{10} \setminus X_1^{(2)}$ определить приращение внешних связей:

$$\delta(x_7) = \rho(x_7) - z(x_7) = 6 - 1 = 5; \quad \delta(x_{12}) = \rho(x_{12}) - z(x_{12}) = 6 - 2 = 4 \quad (6)$$

10. Назначить вершину x_{12} в формируемый кусок. В результате будет получено множество

$$X_1^{(3)} = \{x_2, x_{10}, x_{12}\} \quad (7)$$

11. Мощность полученного множества

$$|X_1^{(3)}| = n_{\min} = n_2 = 3 \quad (8)$$

т.е. соответствует мощности множества вершин, входящих в наименьший кусок заданного разрезания.

12. Определить коэффициент полученного разрезания

$$\Delta_1^{(1)}(G) = \Sigma z_1^{(1)} / K_1^{(1)} = 3/8 = 0,375 \quad (9)$$

$$\text{где } \Sigma z_1^{(1)} = [z(x_2) + z(x_{10}) + z(x_{12})]/2 = (2 + 2 + 2)/2 = 3;$$

$$K_1^{(1)} = \sum_{\varphi=1}^{n_{\min}} \rho(x_{\varphi}) - \sum z_1^{(1)} = (2 + 3 + 6) - 3 = 11 - 3 = 8.$$

13. Сформировать следующий вариант куска G_1 , дополнив множество $X_1^{(3)}$ вершинами до значения его мощности, равного $n_1 = 4$. Для этого следует построить множество Γx_{12} , содержащее вершину x_{12} и все смежные ей вершины:

$$\Gamma x_{12} = \{x_{12}, x_2, x_8, x_{10}, x_{11}\} \quad (10)$$

14. Объединить множества $X_1^{(3)}$ и Γx_{12} :

$$X_1^{(3)} \cup \Gamma x_{12} = \{x_2, x_{10}, x_{12}, x_7, x_8, x_{11}\} \quad (11)$$

15. Для каждой вершины множества $\Gamma x_{12} \setminus X_1^{(3)}$ определить приращение внешних связей:

$$\delta(x_8) = \rho(x_8) - z(x_8) = 6 - 1 = 5; \quad \delta(x_{11}) = \rho(x_{11}) - z(x_{11}) = 5 - 3 = 2 \quad (12)$$

16. Назначить вершину x_{11} в формируемый кусок. В результате будет получено множество

$$X_1^{(4)} = \{x_2, x_{10}, x_{12}, x_{11}\} \quad (13)$$

17. Мощность полученного множества

$$|X_1^{(4)}| = n_1 = 4, \quad (14)$$

что соответствует мощности множества вершин, входящих в первый кусок заданного разрезания.

18. По формуле (9) определить коэффициент полученного разрезания

$$\Delta_1^{(2)}(G) = \Sigma z_1^{(2)} / K_1^{(2)} = 6/10 = 0,6 \quad (15)$$

19. Дополнить множество $X_1^{(4)}$ вершинами до значения его мощности, равного $n_3 = 4$. Для этого следует построить множество Γx_{11} , содержащее вершину x_{11} и все смежные ей вершины:

$$\Gamma x_{11} = \{x_{11}, x_1, x_5, x_{12}\} \quad (16)$$

20. Объединить множества $X_1^{(4)}$ и Γx_{11} :

$$X_1^{(4)} \cup \Gamma x_{11} = \{x_2, x_{10}, x_{12}, x_{11}, x_1, x_5\} \quad (17)$$

21. Для каждой вершины множества $\Gamma x_{11} \setminus X_1^{(4)}$ определить приращение внешних связей:

$$\delta(x_1) = \rho(x_1) - z(x_1) = 5 - 1 = 4; \quad \delta(x_5) = \rho(x_5) - z(x_5) = 6 - 1 = 5 \quad (18)$$

22. Назначить вершину x_1 в формируемый кусок. В результате будет получено множество

$$X_1^{(5)} = \{x_2, x_{10}, x_{12}, x_{11}, x_1\} \quad (19)$$

23. Мощность полученного множества

$$|X_1^{(5)}| = n_3 = 5, \quad (20)$$

что соответствует мощности множества вершин, входящих в третий кусок заданного разрезания.

24. По формуле (9) определить коэффициент полученного разрезания

$$\Delta_1^{(3)}(G) = \Sigma z_1^{(3)} / K_1^{(3)} = 7/14 = 0,5 \quad (21)$$

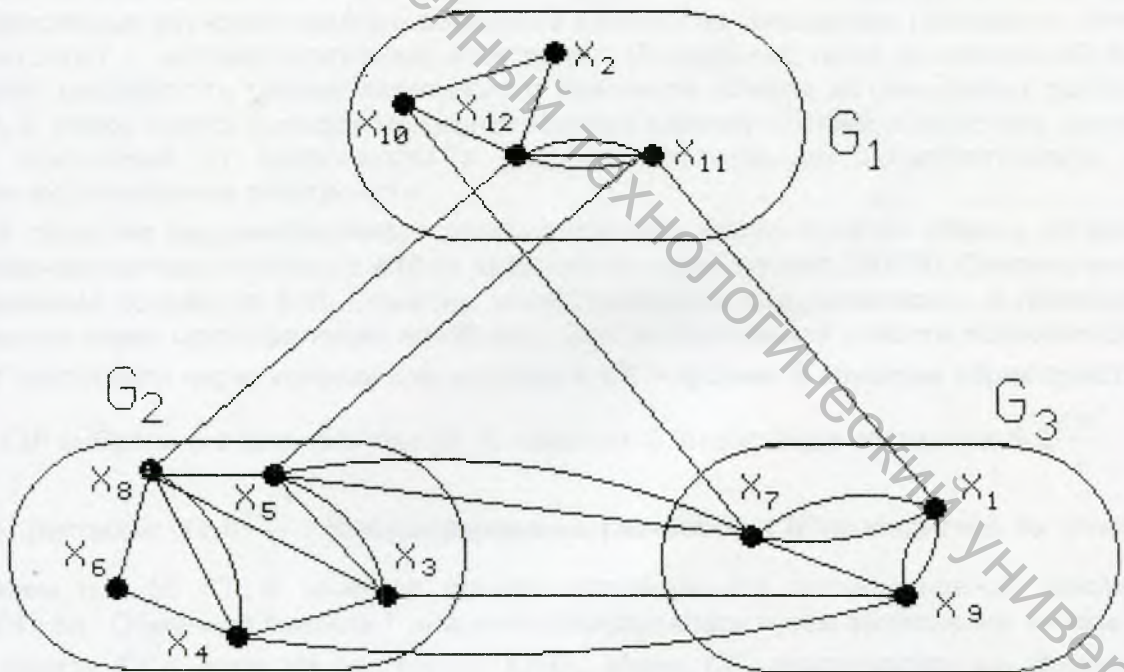


Рисунок 2

25. В результате выполненных действий было получено три варианта куска G_1 . Из полученных вариантов следует выбрать тот, который имеет максимальный коэффициент разрезания. Таким вариантом является второй вариант, для которого $\Delta_1^{(2)}(G) = 0,6 = \max$. Окончательно сформированным следует считать кусок G_1 , в который входит множество вершин $X_1 = \{x_2, x_{10}, x_{12}, x_{11}\}$.

26. Удалить из исходного графа множество вершин X_1 и аналогичным образом сформировать второй кусок графа, рассмотрев при этом варианты $|X_2| = 3$ и $|X_2| = 5$.

В рассматриваемом примере был получен второй кусок G_2 , содержащий множество вершин $X_2 = \{x_3, x_4, x_5, x_6, x_8\}$. Результат разрезания графа представлен на рис. 2.

Коэффициент разрезания $\Delta(G) = 20/8 = 2,5$. Для сравнения: коэффициент разрезания этого же графа традиционным последовательным методом составил 1,15, а коэффициенты разрезания с использованием чисел связности и матричным итерационными методами составили 1,7 и 1,8 соответственно.

Список использованных источников

1. Морозов К.К., Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С. Методы разбиения схем РЭА на конструктивно законченные части. – М.: Сов. радио, 1978.
2. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Курейчик В.М. Применение графов для проектирования дискретных устройств. – М.: Наука, 1974.

SUMMARY

Simultaneous minimization of the cutup column of the external relationships between pieces is described in the article. The Method allows for short time to get the optimum result, which earlier could be received only when use repeating methods, possessing low capacity, greater expenses resource computing machinery under automated decision of the problem and, as effect, limited by amount of the tops cut column. Use the described method will allow greatly raising capacity and quality of the designing radio electronic facilities in step of decisions of the problem of the arrangement of the product.