

УДК 681.3.069

В.В. Семенец<sup>1</sup>, С.Н. Ганжа<sup>2</sup>, М.И. Хиль<sup>2</sup>, В.Г. Иванов<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків<sup>2</sup> Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского национального университета имени В. Даля, Северодонецк**АЛГОРИТМ РАЗМЕЩЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

*Предложен алгоритм размещения компонентов на печатных платах, основанный на минимизации количества цепей в горизонтальных и вертикальных сечениях платы. Такой подход позволяет равномерно заполнять монтажное пространство цепями, учесть еще до трассировки «перегруженные» участки печатной платы. Алгоритм состоит из последовательной и итерационной процедур.*

*размещение, алгоритм, компонент, печатная плата, сечение, гиперграф, итерация*

При задании схемы с помощью гиперграфа множеству вершин гиперграфа ставятся во взаимнооднозначное соответствие компоненты схемы, а связи между компонентами (цепи) отображаются множеством ребер. Печатная плата в этом случае представляется в виде рядной конструкции. Совокупность компонентов, размещенных в одном горизонтальном или вертикальном ряду платы, будем называть подсхемой. В качестве критерия оптимальности в предлагаемых алгоритмах размещения принята минимизация количества цепей между подсхемами в заданной области, т.е. реализован метод сечений [1, 2]. Применение такого критерия позволяет равномерно заполнять монтажное пространство цепями, учесть ограничения на геометрические параметры печатного монтажа, выделить еще до трассировки «перегруженные» участки печатных плат. Все это значительно облегчает последующую трассировку соединений на плате.

Для реализации выбранного критерия размещения монтажное пространство печатной платы «разбивается» множеством вертикальных и горизонтальных сечений. Число цепей, пересекающих сечение, будем называть загруженностью сечения. Предлагается производить оптимизацию для тех сечений, загруженность которых больше допустимой.

Задача оптимального размещения компонентов для выбранной модели печатной платы сводится к разрезанию гиперграфа с минимизацией суммарного числа ребер, попадающих в разрез. Для этой цели используется метод последовательного разбиения множества вершин гиперграфа на два подмножества.

При разбиении множества вершин гиперграфа  $X$  на два подмножества  $X_1$  и  $X_2 = X/X_1$  минимизируется целевая функция

$$F = \sum_{j=1}^k P_j(X_1) P_j(X_2), \quad (1)$$

$$\text{где } P_j(X_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_j \cap X_i \neq \emptyset; \\ 0, & \text{если } e_j \cap X_i = \emptyset; \quad i=1,2. \end{cases}$$

Нетрудно видеть, что произведение  $P_j(X_1) \cdot P_j(X_2)$  равно единице лишь в том случае, когда ребро  $e_j$  попадает в разрез. Иначе говоря, это число внешних узлов выделяемой подсхемы.

Разрезание гиперграфа выполняется с помощью двух алгоритмов. Сначала находится первоначальное разбиение множества  $X$  на  $X_1$  и  $X/X_1$ , которое затем уточняется с помощью итерационного алгоритма.

Суть первого алгоритма состоит в последовательном выборе вершин из  $X$ , пригодных для включения в подмножество  $X_1$ . Для выбора таких вершин  $x_t \in X$  введем оценку  $a_t$  следующего вида:

$$a_t = \sum_{j=1}^k r_{tj} [P'_{tj}(X_2) - P_j(X_1)], \quad (2)$$

$$\text{где } P'_{tj}(X_2) = \begin{cases} 1, & \text{если } e_j \cap [X_2 / \{X_t\}] = \emptyset; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$r_{tj}$  – элемент матрицы инцидентий гиперграфа,

$$r_{tj} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_t \in e_j; \\ 0, & \text{если } x_t \notin e_j. \end{cases}$$

Из (2) видно, что оценка  $a_t$  отражает увеличение числа разрезаемых ребер при переносе вершины  $x_t$  из  $X/X_1$  в  $X_1$ .

Исходя из содержательного смысла оценки (2), на каждом шаге последовательного алгоритма в множество  $X_1$  включаем вершину, для которой величина оценки наименьшая. Формирование множества  $X_1$  прекращается при нарушении ограничения  $|X_1| \leq \ell$  ( $\ell$  – заданное число элементов подсхемы).

Суть второго алгоритма, итерационного, заключается во взаимной перестановке на каждом шаге таких подмножеств  $X_1' \subset X_1$ ,  $X_2'$  вершин гиперграфа, при которой уменьшается целевая функция (1). Для обоснования выбора  $X_1'$  и  $X_2'$  введем оценки:

$$A_1 = \sum_{j=1}^k P_j(X_1') [P_j(X_1/X_1') - P_j(X_2')]; \quad (3)$$

$$A_2 = \sum_{j=1}^k P_j(X_2') [P_j(X_2/X_2') - P_j(X_1')]. \quad (4)$$

С учетом (1) видно, что оценка (3) отражает изменение числа ребер между  $X_1$  и  $X_2$  при переносе вершин подмножества  $X_1'$  из  $X_1$  в  $X_2$ , а оценка (4) – такое изменение при переносе вершин подмножества  $X_2'$  из  $X_2$  в  $X_1$ .

Кроме того, введем оценки

$$B_1 = \sum_{j=1}^k P_j(X_1') P_j(X_2') [1 - P_j(X_1/X_1')]; \quad (5)$$

$$B_2 = \sum_{j=1}^k P_j(X_1') P_j(X_2') [1 - P_j(X_2/X_2')]. \quad (6)$$

Оценки (5), (6) отражают уменьшение числа разрываемых ребер, содержащих одновременно вершины из  $X_1'$  и  $X_2'$ , при переносе  $X_1'$  в  $X_2$  или  $X_2'$  в  $X_1$  соответственно.

Критерий выбора подмножества вершин для взаимной перестановки определяется следующим утверждением.

Взаимная перестановка подмножеств вершин  $X_1' \subset X_1$ ,  $X_2' \subset X_2$  приводит к уменьшению целевой функции (1), если

$$G = A_1 + A_2 + B_1 + B_2 < 0. \quad (7)$$

Для доказательства утверждения (7) рассмотрим значения целевой функции до перестановки вершин и после неё. Обозначим значение целевой функции до перестановки через  $F_1$ , а после перестановки – через  $F_2$ .

Тогда запишем (рис. 1):

$$F_1 = F_1' + F_2' + F_0 + \Phi; \quad (8)$$

$$F_2 = F_1'' + F_2'' + F_0 + \Phi; \quad (9)$$

где  $F_1'$  – число ребер, содержащих вершины только из  $X_1'$  и  $X_2/X_2'$ ;  $F_1''$  – число ребер, содержащих вершины из  $X_1'$  и  $X_2/X_2'$  и не содержащих вершины из  $X_2'$ ;  $F_2'$  – число ребер, содержащих вершины только из  $X_2'$  и  $X_1/X_1'$ ;  $F_2''$  – число ребер, содержащих вершины из  $X_2'$  и  $X_1/X_1'$  и не содержащих из  $X_1'$ ;  $F_0$  – число ребер, связывающих  $X_1$  и  $X_2$  не содержащих вершин из  $X_1'$  и  $X_2'$ ;  $\Phi$  – число ребер, связывающих  $X_1'$  и  $X_2'$ .

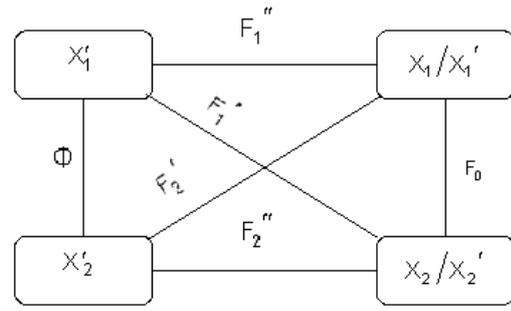


Рис. 1. Схема связи подмножеств вершин гиперграфа

Перестановка подмножеств  $X_1'$  и  $X_2'$  имеет смысл, если

$$F_2 - F_1 < 0. \quad (10)$$

С учетом (8), (9) имеем

$$F_2 - F_1 = F_1'' + F_2'' - F_1' - F_2'. \quad (11)$$

Определим согласно (1) выражения для членов, входящих в (11):

$$F_1' = \sum_{j=1}^k P_j(X_1') [P_j(X_2) - P_j(X_2')], \quad (12)$$

$$F_1'' = \sum_{j=1}^k P_j(X_1') P_j(X_1/X_1') [1 - P_j(X_2')], \quad (13)$$

$$F_2' = \sum_{j=1}^k P_j(X_2') [P_j(X_1) - P_j(X_1')], \quad (14)$$

$$F_2'' = \sum_{j=1}^k P_j(X_2') P_j(X_2/X_2') [1 - P_j(X_1')], \quad (15)$$

После подстановки выражений (12) – (15) в (11) и несложных преобразований получим

$$\begin{aligned} F_2 - F_1 = & \sum_{j=1}^k P_j(X_1') [P_j(X_1/X_1') - P_j(X_2)] + \\ & + \sum_{j=1}^k P_j(X_2') [P_j(X_2/X_2') - P_j(X_1)] + \\ & + \sum_{j=1}^k P_j(X_1') P_j(X_2') [1 - P_j(X_1/X_1')] + \\ & + \sum_{j=1}^k P_j(X_1') P_j(X_2') [1 - P_j(X_2/X_2')]. \end{aligned}$$

Сравнивая полученное с (10), с учетом (3) – (6) приходим к  $A_1 + B_2 + B_1 + B_2 < 0$ . Утверждение (7) доказано.

Заметим, что поскольку  $B_1$  и  $B_2$  всегда положительны, то при работе алгоритма в качестве кандидатов на перестановку рассматриваются только те подмножества, для которых  $A_1 + A_2 < 0$ .

Так как критерий перестановки (7) определяет величину изменения целевой функции, то на каждой итерации выбираются такие  $X_1'$  и  $X_2'$ , для кото-

рых величина  $G < 0$  наименьшая. Очевидно, что число итераций конечно, так как на каждой итерации происходит уменьшение целевой функции, которая имеет свой минимум.

Последовательное размещение компонентов на печатных платах производится в два этапа. На первом этапе для каждого горизонтального ряда посадочных мест формируются подсхемы путем разрезания гиперграфа схемы на  $m$  частей ( $m$  – число горизонтальных рядов). Для этого в начале формируются горизонтальные сечения платы. В ходе разрезания критерием оптимальности является минимизация числа цепей, проходящих через эти сечения. На втором этапе последовательного размещения компоненты каждой подсхемы размещаются внутри ряда путем разрезания гиперграфа каждой  $i$ -й подсхемы на  $n_i$  частей ( $n_i$  – количество компонентов в  $i$ -й подсхеме). Критерием размещения на этом этапе является минимизация числа цепей, проходящих через заранее сформированные вертикальные сечения платы.

На обоих этапах последовательного размещения предусмотрена возможность оперативного вмешательства в процесс размещения с целью коррекции результатов (включение компонентов в подсхемы, «фиксация» компонентов в определенном месте и т.п.).

В ходе итерационного размещения за счет парных перестановок компонентов местами минимизируется число цепей, проходящих через горизонтальные и вертикальные сечения монтажного пространства. Для этого выбираются сечения, загруженность которых больше допустимой. Поиск парных перестановок выполняется в заданной области.

В заключение отметим, что предложенные алгоритмы применимы ко многим задачам конструкторского проектирования РЭА, распределения программ в вычислительных системах и т.п.

### Список литературы

1. Duff I.S., Reid J.K., Scott J.A. *The use of profile reduction algorithms with a frontal code. // Int. J. Numer. Meth. Eng.* – 1989. – 28. – P. 2555-2568.
2. Fialko S.Yu., Kriksunov E.Z., Karpilovskyy V.S. *A sparse direct multi-frontal solver in SCAD software // Proc. of the CMM-2003 – Computer Methods in Mechanics, June 3-6, 2003. – Gliwice, Poland. – P. 131-132.*

Поступила в редколлегию 1.10.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.И. Стенцель, Северодонецкий технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В. Даля, Северодонецк.

УДК 621.391

А.И. Стрелков<sup>1</sup>, Т.А. Стрелкова<sup>2</sup>, С.А. Лисовенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

<sup>2</sup>Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ОБНАРУЖИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

*Проведен анализ возможности повышения обнаружительной способности оптико-электронных систем обнаружения и сопровождения воздушных объектов.*

**оптико-электронные системы, отношение сигнал/шум, повышение чувствительности**

### Введение

**Постановка проблемы.** Опыт локальных конфликтов последних лет (в зоне Персидского залива, Югославии и Афганистана) показывает, что роль средств воздушного нападения (СВН) в достижении целей войны постоянно растет. Программа развития СВН, которая проводится большинством развитых стран мира позволила увеличить до 2006 года боевой потенциал СВН в 2-3 раза за счет глубокой модернизации существующего парка самолетов и принятия на вооружение перспективных образцов СВН, усовершенствования их прицельно-навигационного оборудования. Применение в ходе боевых действий [1] высокоточного оружия (ВТО) малой, средней и большой дальности действия, использования систем дальнего радиолокационного обнаружения и управления (ДРЛО), разведывательно-ударных комплексов (РУК) [2], а также применения дистанционно пилотируемых летальных аппаратов (ДПЛА) разного назначения, снижения заметности носителей ВТО и их элементов в условиях интенсивного огневого и радиоэлектронного противодействия во много раз увеличивает эффективность применения СВН. Именно по этому в условиях современного боя основными задачами систем ПВО становится эффективное противодействие ВТО и ДПЛА. Для увеличения эффективности борьбы с СВН необходимо разрабатывать новые комплексы, которые бы соответствовали реалиям современного боя, либо модернизация старых комплексов. В составе многих комплексов ПВО есть оптико-электронные системы (ОЭС) обнаружения и наведения. У ОЭС много преимуществ над радиолока-

ционными системами, но есть и недостатки. Это большая зависимость характеристик от погодных условий и от времени суток. Одной из таких ОЭС является телевизионно-оптический визир (ТОВ) "Карат". Для модернизации этой ОЭС необходимо провести анализ регистрации оптического излучения и принятия решения об обнаружении воздушного объекта.

**Анализ литературы.** В литературе [2 – 4] дана полная методика расчета основных характеристик оптических приборов и методы их улучшения в одномодовом режиме. В [1] дана оценка преимуществ работа в многомодовом режиме. Однако трудов посвященных направлениям модернизации систем технического зрения, работающих в различной помеховой обстановке в разных режимах практически нет [5].

**Целью данной работы** является анализ возможности увеличения чувствительности ТОВ "Карат" без существенных изменений в конструкции.

### Результаты исследований

**Основные формулировки.** Для соответствия требованиям ведения современного боя необходимо, чтобы современные ОЭС обнаруживали средства высокоточного оружия на максимальном удалении при любой помеховой обстановке. Определим направления модернизации ОЭС, для этого выделим наиболее важные факторы, влияющие на качество выполнения задач обнаружения и сопровождения средств воздушного нападения ОЭС. Задача обнаружения СВН в ОЭС заключается в выделении сигнала на выходе ОЭС, создаваемого СВН, из сигнала помехи, создаваемого внешними и внутренними шумами [2, 4].