

УДК 621.396.6

## ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

*Величко В.М., студент, Скудняков Ю.А, канд. техн. наук*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Институт информационных технологий,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Скудняков Ю.А. – канд. техн. наук, доцент каф. ИСиТ*

**Аннотация.** В работе разработано программное средство для осуществления сравнительного анализа эффективности алгоритмов размещения элементов электрической схемы на печатной плате при вариации их количества с целью достижения минимальной суммарной длины связей между ними, что позволяет снизить трудоемкость, затраты производства конструкций изделий, повысить их надежность и долговечность.

**Ключевые слова.** Программное средство, эффективность, алгоритмы, размещение, элементы, электрическая схема.

**Введение.** Конструирование электронных средств производится в течение трех этапов:

1) компоновки элементов разрабатываемых электронных изделий, когда производится распределение элементов низшего уровня иерархии по узлам высшего уровня, при этом, решаются две задачи: покрытие – преобразование исходной схемы в схему соединения элементов, номенклатура которых задана и разрезание – разбиение исходной схемы на части;

2) размещения конструктивных модулей электрической схемы изделия, основной целью которого является создание наилучших условий для последующей трассировки соединений при удовлетворении основных требований, обеспечивающих работоспособность проектируемой схемы;

3) трассировки электрических соединений между всеми элементами печатной платы проектируемого электронного изделия, при этом необходимо учитывать различные конструктивно-технические ограничения: допускаются пересечения трасс или нет, возможен ли переход с одного слоя на другой, сколько слоев отводится для трассировки, допустимые ширина проводников и расстояния между ними и т. д., а применяемые алгоритмы трассировки существенно зависят от принятой конструкции и технологии изготовления электронной аппаратуры [1,2].

В целом критерии размещения элементов электрической схемы целесообразно объединить в 3 группы:

1) конструкторско-технологические (минимальная суммарная длина связей между элементами электрической схемы; минимальное число и длина самых протяженных связей схемы);

2) электромагнитной совместимости элементов электрической схемы (минимальное число паразитных связей между элементами; минимальный уровень паразитных наводок);

3) тепловой совместимости элементов электрической схемы (минимальное тепловое влияние наиболее нагретых элементов на другие, особенно на соседние; равномерное распределение температуры в монтажном пространстве).

Рассматриваемая работа посвящена исследованию и практическому применению алгоритмов парных и групповых перестановок элементов электрической схемы при их размещении на печатной плате, при этом, под размещением понимается процесс определения оптимального пространственного расположения конструктивных модулей разрабатываемого электронного средства в монтажном пространстве. Рассматриваемые алгоритмы относятся к итерационным, использование которых позволяет выполнять перераспределение элементов электрической схемы для уменьшения общей длины соединений между ними. Каждый этап алгоритма парных или групповых перестановок должен приводить к новому размещению элементов схемы с меньшей общей суммарной длиной. Такие алгоритмы относятся к полиномиальным со сложностью порядка  $O(n^2) - O(n^4)$ , где  $n$  – число элементов электрической схемы.

Целью данной работы является сравнение эффективности применения вышеприведенных алгоритмов размещения при минимизации суммарной длины связей между всеми элементами схемы.

Для достижения сформулированной цели разработано программное средство (ПС), реализующее алгоритмы парных и групповых перестановок.

В дальнейшем планируется осуществить разработку ПС для решения задач размещения на основе венгерского алгоритма, алгоритма силонаправленной релаксации и алгоритма на основе метода ветвей и границ. Для полноценного конструирования электронного средства желательно совместное решение задач размещения и трассировки. Однако, использование такого подхода вызывает проблемы его реализации в силу наличия сложных взаимосвязей между отдельными параметрами конструкции и

схем соединений. Поэтому программно-алгоритмическое решение указанных задач выполняется раздельно: сначала осуществляется процесс размещения, а затем – трассировки.

**Основная часть.** В работе для автоматизации решения поставленной задачи исходная принципиальная электрическая схема электронного средства представляется в виде графовой модели [3-5].

Рассмотрим математическую модель задачи размещения, которая представляется в виде: множества элементов электрической схемы  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ ,  $|E| = m$  и множества позиций монтажной плоскости  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ ,  $|P| = n$ , в общем случае  $n \geq m$ .

Оптимальное решение задачи размещения может быть получено согласно универсальному критерию минимизации суммарной длины соединений между элементами электрической схемы:

$$F(P) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m r_{ij} \times d_{p(i)p(j)}. \quad (1)$$

В приведенной формуле:  $F(P)$  – суммарная длина соединений;  $m$  – количество размещаемых элементов;  $r_{ij}$  – элемент матрицы связности  $R = [r_{ij}]_{m \times m}$ ;  $d_{p(i)p(j)}$  – элемент матрицы расстояний  $D = [d_{ij}]_{n \times n}$ .

В ортогональной метрике расстояние между элементами  $e_i$  и  $e_j$  вычисляется по формуле:

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|, \quad (2)$$

где  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  координаты позиций, а в евклидовой метрике (диагонализация трасс):

$$d_{ij} = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{1/2}, \quad (3)$$

где  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  координаты позиций.

В общем случае в качестве монтажной плоскости могут использоваться печатная плата, панель с проводными соединениями, подложка микросборки, кристалл БИС и т.д. В данной работе в качестве монтажного поля применяется печатная плата [6].

Сервисное решение использования разработанного ПС заключается в следующем.

Есть 3 поля и кнопка: количество элементов, размеры платы  $y$  и  $x$  и кнопка «Анализ» (рисунок 1).

После заполнения полей и нажатии кнопки «Анализ», составляется матрица связности графа и матрица со случайной длиной ребер графа. Далее происходит выполнение алгоритмов и вывода графиков перестановок элементов электрической схемы на монитор компьютера (рисунок 1).

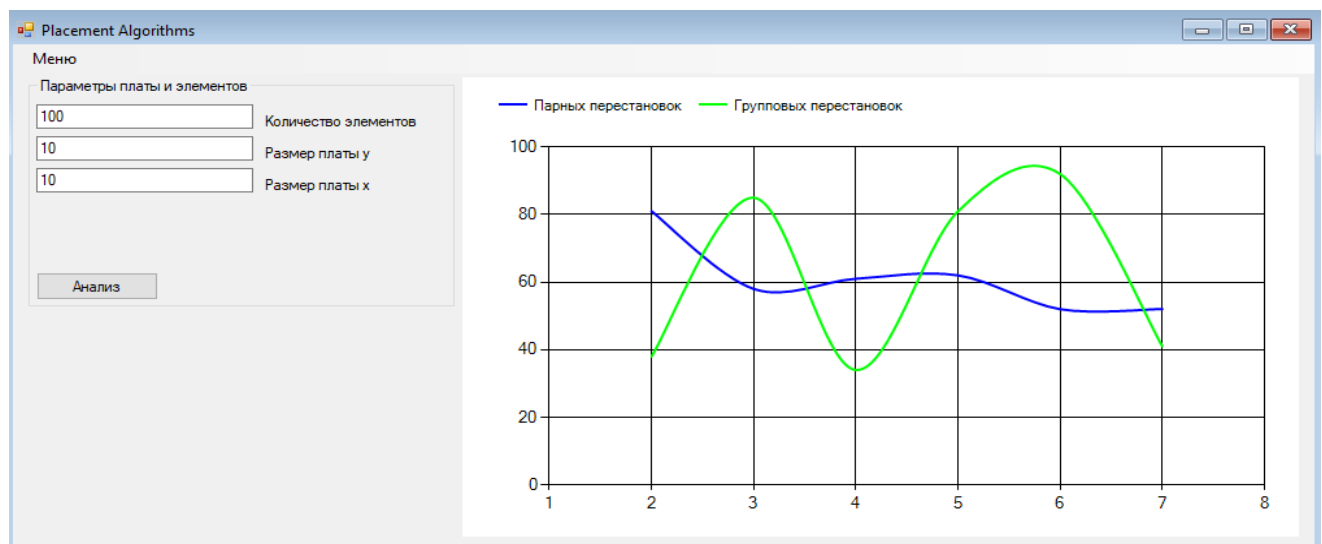


Рисунок 1 – Графики эффективности размещения элементов электрической схемы алгоритмами парных и групповых перестановок

ПС написано на языке C# [7].

Характеристики компьютера, на котором выполнена разработка:

- процессор - AMD A6-9220 RADEON R4, 5 COMPUTE CORES 2C+3G (2 CPUs), ~2.5GHz;
- память - 12288MB RAM;
- файл подкачки - 11742MB RAM;
- интегрированная видеокарта - AMD Radeon(TM) R4 Graphics;

- дискретная видеокарта - AMD Radeon (TM) 520;
- операционная система - Windows 10 Pro 64-bit (10.0, Build 19044).

При реализации алгоритмов в общем случае могут получаться локальные минимумы целевой функции. Поэтому представляют интерес получение оценок суммарной длины соединений и числа пересечений для графа электрической схемы с данными числами вершин и ребер.

Следует отметить, что применение рассматриваемых алгоритмов позволяет получать более качественные результаты по сравнению с последовательными (например, алгоритмом размещения элементов схемы по связности и матричным алгоритмом) за счет использования больших затрат компьютерного времени.

**Заключение.** В процессе проведения исследования разработано ПС сравнительной оценки алгоритмов парных и групповых перестановок для разного количества элементов электрической схемы при минимизации суммарной длины связей между размещаемыми элементами. Результаты работы ПС показали различные значения суммарной длины связей при реализации алгоритмов парных и групповых перестановок разного количества элементов схемы: при размещении 100 элементов применение алгоритма парных перестановок дает более равномерное изменение суммарной длины связей по сравнению с алгоритмом групповых перестановок.

**Список использованных источников:**

1. Морозов, К.К. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов / К.К. Морозов, В.Г. Одинокое, В.М. Курейчик. – М.: Радио и связь, 1983. – 280 с.
2. Зыков, А.Г. Алгоритмы конструкторского проектирования ЭВМ / А.Г. Зыков, В.И. Поляков. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – 136 с.
3. Омельченко, А. В. Теория графов / А.В. Омельченко. – М.: МЦНМО, 2018. – 416 с.
4. Емеличев, В. А. Лекции по теории графов. / В. А. Емеличев, О. И. Мельников, В. И. Сарванов, Р. И. Тышкевич. – М.: УРСС, 2009. -392 с.
5. Зыков, А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. – М.: Вузовская книга, 2004. - 664 с.
6. Иванова, Н.Ю. Технология проектирования печатных плат в САПР P-CAD-2006 / Н.Ю. Иванова, А.С. Петров, В.И. Поляков, Е.Б. Романова. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009 - 168 с.
7. Прайс, М.Д. C# 7 и .NET Core. Кроссплатформенная разработка для профессионалов / М.Д. Прайс. – СПб.: Питер, 2018. – 640 с.: ил.

UDC 621.396.6

## SOFTWARE TOOL FOR ANALYZING THE EFFECTIVENESS OF ALGORITHMS FOR THE PLACEMENT OF ELECTRICAL CIRCUIT ELEMENTS

*Velichko V.M., Skudnyakov Yu.A.*

*Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,  
Minsk, Republic of Belarus*

*Skudnyakov Yu.A. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

**Annotation.** A software tool has been developed to perform a comparative analysis of the effectiveness of algorithms for placing electrical circuit elements on a printed circuit board with variations in their number in order to achieve a minimum total length of connections between them, which reduces the complexity, production costs of product designs, increases their reliability and durability.

**Keywords.** Software, efficiency, algorithms, placement, elements, electrical circuit.