

СЕКЦИЯ 2

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

DOI: 10.58168/CISMP2024_239-244

УДК 004.052.2

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Д.А. Ачкасов

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В работе рассматриваются алгоритмы оптимизации, основанные на применении эвристик, таких как алгоритм муравьиной колонии и генетический алгоритм. Эвристические методы позволяют находить решения задач, которые сложно или невозможно решить обычными методами в силу их вычислительной сложности. Применительно к технике эвристики можно использовать: для оптимизации параметров при проектировании электронной аппаратуры, для оптимизации маршрутов протекания энергии в распределенных энергетических системах и вообще в приложениях, требующих глобальной оптимизации маршрутов.

Ключевые слова: эвристические алгоритмы, биоинспирированные алгоритмы, роевой интеллект, глобальная оптимизация, оптимизация топологии, печатный платы.

HEURISTIC ALGORITHMS FOR OPTIMIZING THE TOPOLOGY OF ELECTRICAL CONNECTIONS

D.A. Achkasov

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The paper considers optimization algorithms based on the use of heuristics and swarm intelligence, such as the ant colony algorithm and the genetic algorithm. Heuristic methods allow finding solutions to problems that are difficult or impossible to solve by conventional methods due to their computational complexity. In relation to the technique, heuristics can be used: to optimize parameters when designing electronic equipment, to optimize energy flow routes in distributed energy systems and, in general, in applications requiring global route optimization.

Keywords: heuristic algorithms, bioinspired algorithms, swarm intelligence, global optimization, topology optimization, printed circuit boards.

Введение

Эвристические алгоритмы, применительно к роевому интеллекту, представляют собой методы с участием множества простых агентов, каждый из которых реализует набор простых правил. Анализ поведения агентов позволяет найти квазиоптимальное решение задачи за некоторое число итераций алгоритма. Общие этапы применения роевых алгоритмов таковы:

- инициализация агентов;
- миграция агентов в соответствии с набором простых правил;
- завершение итерации, проверка условия окончания алгоритма.

В качестве условия завершения может быть использовано достижение заданного числа итераций, либо условие стагнации, когда наилучшее решение не изменяется на протяжении многих итераций. Качество работы алгоритма выражается в понятии минимума/максимума целевой функции.

Основная проблема подобных алгоритмов роевого интеллекта состоит в нахождении баланса между диверсификацией поиска и скоростью сходимости алгоритма. Если алгоритм быстро сходится, результат может оказаться в локальном минимуме целевой функции и не достичь более оптимального результата [1]. В данной статье рассматривается два алгоритма – муравьиной колонии и традиционный волновой алгоритм Ли, модифицированный при помощи генетического алгоритма.

Муравьиный алгоритм

Алгоритм муравьиной колонии позволяет находить короткие пути при поиске маршрута на графах, в частности для задачи коммивояжера. Целевая функция в данном случае – пройденное расстояние. Муравей появляется в заданной вершине графа и перемещается в одну из других вершин. Вероятности перемещения муравья между вершинами задаётся формулой

$$P_i = \frac{f_i^p l_i^p}{\sum_{k=0}^N l_k^q f_k^p}, \quad (1)$$

где P_i – вероятность перехода, l_i – величина обратная расстоянию, f_i – количество феромона на переходе, q и p – коэффициент.

В этой формуле $f_i^p l_i^p$ это «желание» муравья, а $\sum_{k=0}^N l_k^q f_k^p$ – нормирующее значение. При переходе между вершинами на пути остаётся феромон, после чего выбирается следующий граф. Таким образом муравей проходит некоторым путём по всем графам и на всех переходах остаётся феромон. После этого итерация завершается. При этом феромон означает, что такой путь будет выбран следующим муравьём с большей вероятностью. Важно заметить, что нельзя на каждой итерации начинать маршрут из одной и той же вершины графа. В противном случае алгоритм может найти локальный минимум целевой функции.

Применительно к трассировке печатных плат этот алгоритм должен быть адаптирован. Для проведения печатной дорожки между двумя элементами схемы нужно разбить плату на клетки. Таким образом задачу можно представить как граф. Алгоритм работает следующим образом:

1. Инициализация муравьёв и начальных уровней феромонов.

2. Поиск пути. На этом шаге каждый муравей строит путь.

2.1 Муравей в начальной ячейке. При этом остальные ячейки помечены как не посещённые.

2.2 Для данной вершины определяются соседние клетки.

2.3 В соответствии с формулой (1) определяется вероятность перемещения муравья в любую из соседних клеток.

2.4 Муравей перемещается в следующую клетку. Прошлая помечается как пройденная. Далее повторяется с шага 2.2, если алгоритм ещё не пришел к конечной точке пути.

3. Путь, сформированный каждым муравьём оценивается с точки зрения показателя качества, вычисляемого в соответствии с целевой функцией задачи.

4. Определяется маршрут, обладающий наилучшим качеством.

5. Происходит обновление феромона по следующей формуле:

$$f_i^{t+1} = (1 - m)f_i^t + \sum_{k=0}^N \Delta f_i^k, \quad (2)$$

Где: Δf_i^k – изменение уровня феромона на i -й клетке k -м муравьём, а m – коэффициент, определяющий испарения феромона.

Алгоритм повторяется до тех пор, пока его не пройдёт заданное количество итераций, либо не перестанет расти показатель качества. Конфигурация найденного пути определяет рисунок токопроводящей дорожки для соответствующего межсоединения на печатной плате. Таким образом, в процессе работы муравьиного алгоритма происходит построение одного проводника на монтажной области печатной платы. В источнике [2] представлены результаты программной реализации алгоритма и результат трассировки печатной платы, полученный с использованием заданного алгоритма.

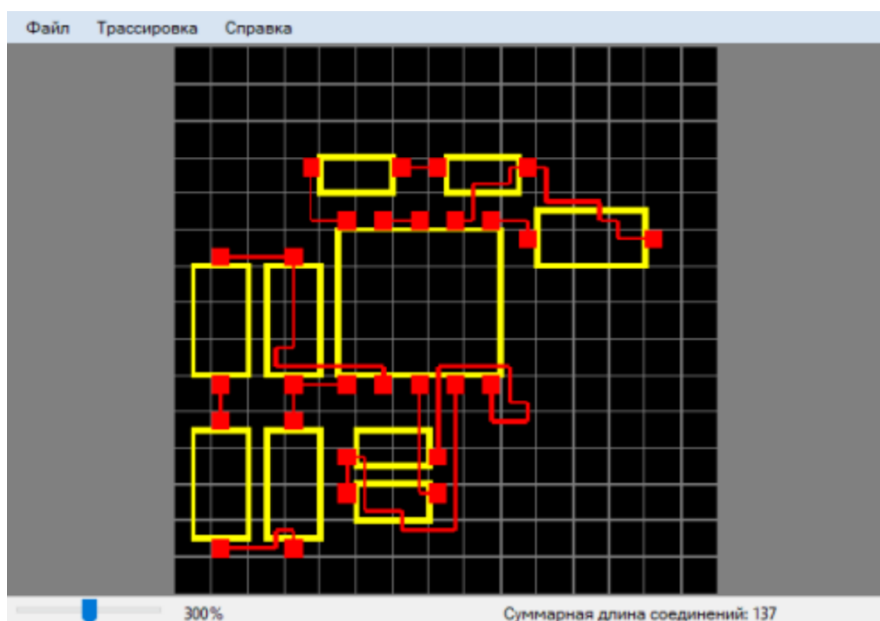


Рисунок 1 – Токопроводящий рисунок, полученный с использованием алгоритма муравьиной колонии

При увеличении размерности популяции муравьев, происходит улучшение качества получаемых решений задачи трассировки, но при этом возрастает время работы алгоритма.

Гибридный алгоритм на основе генетического алгоритма и волновой функции

Современные автотрассировщики зачастую используют более классические методы, такие как волновой алгоритм. Волновой алгоритм обладает несомненными достоинствами – он даёт гарантированно неплохой результат за известное время. Однако его работу так же можно улучшить, используя эвристики. Генетический алгоритм представляет собой метод оптимизации, основанный на принципах естественного отбора и эволюции. Такие алгоритмы используются для решения сложных оптимизационных задач и включают несколько ключевых этапов, которые обеспечивают их эффективность.

Цель генетического алгоритма заключается в максимизации или минимизации заданной целевой функции (функции приспособленности). Эта функция оценивает качество решений, представленных в виде хромосом (наборов параметров). Чем выше значение функции, тем более "приспособленной" считается особь. Итерация алгоритма включает в себя следующую последовательность действий:

1. Инициализация популяции. Процесс начинается с инициализации популяции, которая представляет собой случайный набор хромосом. Размер популяции может варьироваться в зависимости от сложности задачи и доступных вычислительных ресурсов. Инициализация обеспечивает разнообразие, что важно для эффективного поиска оптимального решения.

2. Процесс отбора. Отбор является критически важным этапом, который определяет, какие особи будут использованы для создания следующего поколения. Существует несколько методов отбора. Отбор по колесу рулетки, когда вероятность выбора особи пропорциональна её приспособленности. Так же существует турнирный отбор: случайным образом выбирается несколько особей, и из них выбирается наиболее приспособленная.

3. Кроссинговер (скрещивание): две родительские хромосомы обмениваются частями для формирования потомков.

4. Мутация: Случайное изменение одного или нескольких генов, что предотвращает преждевременное схождение алгоритма к локальным минимумам.

5. Проверяется условие завершения.

Применение генетического алгоритма для задач трассировки может быть осуществлено в гибридном варианте, вместе с волновым алгоритмом Ли. С учетом особенностей задачи трассировки электрических соединений может быть использована структура хромосомы, но при этом кодируется не реальное размещение соединения по областям, а процедура его построения на коммутационном поле. В таком случае кодом может быть двоичное число. Работа [3] показывает, что замена классического волнового алгоритма

гибридным алгоритмом даёт лучшие результаты, если проводить сравнение по критерию равномерное распределение цепей по коммутационному полю.

Заключение

Эвристические алгоритмы оптимизации, такие как алгоритм муравьиной колонии и генетический алгоритм, демонстрируют значительный потенциал в решении сложных задач оптимизации топологии электрических соединений. Их способность находить квазиоптимальные решения в задачах высокой сложности, гибкость и адаптивность открывают новые горизонты в области проектирования электронных устройств и систем. Особенно перспективным является применение этих алгоритмов в области трассировки печатных плат. Алгоритм муравьиной колонии, адаптированный для задач трассировки, позволяет эффективно находить оптимальные пути для проведения токопроводящих дорожек, учитывая сложную топологию платы. Генетический алгоритм, особенно в гибридном варианте с волновым алгоритмом Ли, показывает улучшенные результаты при распределении цепей по коммутационному полю. Применение этих методов в микроэлектронике может привести к оптимизации топологии интегральных схем, что потенциально повысит производительность и снизит энергопотребление устройств. Более того, гибридный подход, сочетающий генетический алгоритм и волновой алгоритм, открывает новые возможности для оптимизации [4]. Такой гибрид может объединить сильные стороны обоих методов, обеспечивая улучшенный баланс между глобальным и локальным поиском, повышенную скорость сходимости и большую устойчивость к попаданию в локальные оптимумы. Это особенно важно при проектировании сложных электронных устройств, где требуется одновременно оптимизировать множество параметров. Дальнейшие исследования могут включать разработку более специализированных гибридных алгоритмов, сочетающих преимущества различных эвристических методов, а также интеграцию методов машинного обучения для повышения эффективности трассировки. Таким образом, эвристические алгоритмы оптимизации топологии электрических соединений представляют собой мощный инструмент, способный революционизировать процессы проектирования печатных плат и интегральных схем, что в конечном итоге будет способствовать технологическому прогрессу в электронной промышленности.

Список литературы

1. Тертерян А.С., Бровко А.В. Методы оптимизации в многокритериальных задачах с использованием локальной качественной важности критериев// Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 107-114.
2. Трассировка межсоединений печатных плат электронных средств на основе муравьиного алгоритма / Шарафеев И. И., Никитин А. В, Халилов Т. М. // Современные материалы, техника и технология: Сборник научных статей 9-й

Международной научно-практической конференции. – 2019. – Т. 2. – С. 412-416.

3. Лебедев, О. Б. Генетический алгоритм глобальной трассировки / О. Б. Лебедев // Интеллектуальные системы и Интеллектуальные САПР (CAD-2004): Труды Международных научно-технических конференций в 3 томах. – 2004. – С. 70-75.

4. Юрьев, Н.Ю. Анализ эксперимента по созданию токопроводящих дорожек печатных плат / Н.Ю. Юрьев, В.В. Лавлинский, Н.С. Бокарева // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 77-84.

References

1. Terteryan A.S., Brovko A.V. Optimization methods in multicriteria problems using local qualitative importance of criteria// Modeling of systems and processes. - 2022. - Vol. 15, No. 1. - P. 107-114.

2. Routing interconnections of printed circuit boards of electronic devices based on the ant algorithm / I. I. Sharafeyev, A. V. Nikitin, T. M. Khalilov // Modern materials, engineering and technology: Collection of scientific articles of the 9th International Scientific and Practical Conference. - 2019. - Vol. 2, - P. 412-416.

3. Lebedev, O. B. Genetic algorithm of global tracing / O. B. Lebedev // Intelligent systems and Intelligent CAD (CAD-2004): Proceedings of International scientific and technical conferences in 3 volumes. – 2004. – P. 70-75.

4. Yuryev, N.Yu. Analysis of the experiment on creating conductive tracks of printed circuit boards / N.Yu. Yuryev, V.V. Lavlinsky, N.S. Bokareva // Modeling of systems and processes. - 2020. - Vol. 13, No. 2. - P. 77-84.