

# РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ КОНСТРУКТОРСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

*Д. А. Мяндин*

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва

Процесс проектирования конструкции устройств автоматики состоит из параллельной разработки каждого отдельного узла, с последующей общей компоновкой. Таким образом, весь процесс проектирования представляет комбинацию сначала нисходящего, а затем восходящего подхода. Это означает, что необходимо сначала определить облик всей конструкции, распределить место под все узлы, проработать все соединения. Затем, спроектировав конструкцию каждого отдельного узла, собрать их вместе, обеспечив при этом завершённую конфигурацию, которая может быть реализована технологически. В то же время она должна отвечать всем предъявляемым требованиям по массе, габаритам, прочности и стойкости к механическому и специальному воздействиям и т. д.

Для решения задач конструирования на сегодняшний день применяются различные программные комплексы и системы автоматизированного проектирования. Машиностроительные САПР (Autodesk AutoCAD, PTC Creo/ProE, SolidWorks, КОМПАС-3D) позволяют разрабатывать 3D-модели устройств и на их основе создавать конструкторскую документацию в соответствии с ЕСКД. Электронные САПР (P-CAD/Altium Designer, Mentor Graphics, MATLAB Simulink) дают возможность разработать электрическую схему устройства, промоделировать ее и создать на ее основе печатную плату. Различные системы конечно-элементного анализа (ANSYS, COMSOL Multiphysics) позволяют оптимизировать механическую прочность конструкции, промоделировать тепловые, электромагнитные режимы работы и подтвердить ее работоспособность при определенных воздействиях.

Электронные модули систем автоматики – это узлы, преимущественно состоящие из печатных плат. Основная трудность проектирования таких устройств заключается в том, что они обладают сложной конфигурацией. Это вызвано тем, что в системах автоматики зачастую невозможно размещение крупных объектов правильной геометрической формы без потерь габаритов и массы. Более того, в компоновке заранее могут быть определены места расположения разъемов и примененных узлов. Таким образом, оставшееся место под электронные модули представляет собой объем сложной конфигурации, в котором сложно судить заранее о принципиальной возможности размещения того или иного узла.

Существующие инструменты компоновки элементов на печатной плате не позволяют учесть все особенности проектирования. Большинство алгоритмов предназначено для поиска такого решения, которое способствует созданию оптимальной трассировки. Кроме того не существует такого алгоритма, который бы за адекватное время решал задачу компоновки и находил оптимальное размещение элементов. В связи с этим, в последнее время широко применяются эвристические алгоритмы, которые хоть и не гарантируют нахождение оптимального решения, но за приемлемое время позволяют получить допустимый результат. Дальнейшим развитием эвристических алгоритмов являются генетические алгоритмы поиска, которые используются для решения задач оптимизации путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров.

Недостаток генетических алгоритмов поиска оптимальной компоновки заключается в том, что для каждого нового размещения необходимо будет заново подбирать набор хромосом, так как найденный ранее способ решения не применим к другим задачам.

Необходимо разработать метод нахождения набора решений, сочетающего в себе вариативные преимущества генетических алгоритмов с возможностью избежать заведомо неприемлемые решения.

Другой важный аспект создаваемой системы заключается в информационной поддержке разработчика на этапе создания конструкции и оформления конструкторской документации. Автоматическое создание списка технических требований на основе принятых решений и используемых элементов с учетом ранее накопленного опыта является важной задачей, сокращающей время оформления конструкторской документации и снижающее число возникающих ошибок.

Размещение электронных компонентов на печатной плате является одним из наиболее ответственных этапов проектирования. Именно на этом этапе обеспечивается собираемость разрабатываемого блока, качество трассировки, электромагнитная совместимость и т. д. Возможность быстрого определения возможных вариантов, их обработка и анализ должны быть неотъемлемой частью используемой системы автоматизированного проектирования. Исходя из реалий современного процесса проектирования систем иницирования, определение облика такой информационной системы, ее разработка и реализация является актуальной задачей.

Алгоритмам размещения различных объектов посвящено множество работ [1–4]. Тем не менее, на сегодняшний день не существует ни одного оптимального решения для автоматизированного размещения элементов на печатных платах, применяемых в системах инициирования. Подобное решение позволило бы не только сократить время проектирования электронных узлов, но и помогло бы проанализировать множество возможных вариантов размещения и выбрать наилучший из них по какому либо определенному критерию.

### Анализ современного состояния проблемы

Размещение элементов внутри заданного объема относится к классу NP-сложных. Использование точных методов размещения в процессе проектирования не представляется возможным, так как полный перебор всех возможных комбинаций в настоящее время неосуществим за разумные сроки. Например, предположим, что количество элементов на плате системы инициирования ограничивается числом в 50 единиц (что является относительно скромным числом элементов для размещения исходя из общемировой практики). Известно, что для определения числа возможных перестановок следует использовать формулу факториала. Таким образом, одних лишь комбинаций, отличающихся порядком следования размещаемых элементов, насчитывается около  $3 \cdot 10^{64}$ , не говоря уже о поворотах элементов, и изменении их взаимного расположения друг относительно друга. Очевидно, что необходимо прибегать к некоторым эвристическим методам размещения, которые способны сократить количество рассматриваемых вариантов и достигнуть пусть и не оптимального, но адекватного результата за ограниченное время.

В работе [1] был рассмотрен гибридный метод, основанный на применении жадных алгоритмов, эволюционно-генетического подхода и многоуровневой технике сведения к задачам меньших порядков. В работе приводится сравнительный анализ работы трех алгоритмов размещения прямоугольников: алгоритм Монте–Карло, генетический алгоритм без редукции и многоуровневый генетический алгоритм с уровнем редукции 2. Эксперимент показал, что наиболее качественный результат компоновки был достигнут с применением генетического алгоритма, который использовал механизм редукции.

В работе [2] предлагается другой гибридный генетический алгоритм для решения задачи планирования сверхбольших интегральных схем, а именно – меметический алгоритм, сочетающий в себе методы глобального и локального поиска для минимизации площади микросхемы. С помощью генетических алгоритмов могут быть найдены относительно качественные решения, но для получения оптимального решения, или близкого к нему, необходимо учитывать специфику задачи.

Альтернативная адаптация используется как метод локального поиска. Получая на входе бинарное

дерево в виде обобщенной польской записи, и изменяя хромосому, отвечающую за ориентацию модулей, алгоритм производит локальный поиск экстремума целевой функции.

В заключении отмечается необходимость развития метаэвристического метода, обеспечивающего баланс между генетическими алгоритмами и альтернативными адаптациями для достижения более качественного результата с меньшими вычислительными затратами. Эта необходимость обусловлена особенностями конкретной задачи, которая может быть определена и классифицирована с помощью гибридных метаэвристических методов.

Вместе с генетическими алгоритмами для решения задач размещения разногабаритных топологических блоков могут быть применены итерационные алгоритмы имитации отжига и другие методы размещения с использованием грубой силы. Основное различие между генетическими алгоритмами и алгоритмами имитации отжига заключается в том, что имитация отжига в один момент времени производится с одной конфигурацией размещения, улучшая и оптимизируя ее, во время как генетический алгоритм оперирует популяцией (набором конфигураций) которые оптимизируются одновременно [3]. Таким образом можно заключить, что имитация отжига хоть и направлена на поиск глобального оптимума, она работает уже с заранее определенной конфигурацией, а генетический алгоритм рассматривает несколько вариантов размещений, исключая попадание в локальный оптимум, и, как следствие, получения не самого лучшего результата.

Известно множество способов описания размещения расположения элементов на печатных платах. Одним из них является метод графов (бинарные, диагональные, горизонтальные деревья), который применяется, как правило, для размещения элементов на регулярных сетках. Тем не менее, для размещения различных по габаритам элементов необходимо разработать простую, но наглядную систему кодировки.

Для решения оптимизационной задачи с помощью генетических алгоритмов используются генетические операторы: кроссинговер и мутация. Кроссинговер предназначен для получения новых популяций (размещений) за счет комбинирования генов максимально приспособленных особей в процессе эволюции. Мутации служат для случайного, спонтанного изменения какого либо гена для исключения вероятности попадания в локальный оптимум. В работе [3] показано использование генетических операторов для изменения дерева размещения за счет поворота поддеревьев, поворота листьев и парной перестановки имен – перекрестный обмен конструкциями одинаковой длины. Поэтому для осуществления парной перестановки имен у обоих родителей обязательно должны быть конструкции одинаковой длины. Причем, как и у алгоритмов симуляции отжига, операторы кроссинговера должны усиливаться с ходом времени, а операции мутации – ослабевать.

В работе [4] предлагается использовать гибридный алгоритм размещения элементов на основе генетического поиска для решения задачи многокритериальной оптимизации СБИС с целью уменьшения временных задержек и обеспечения возможности трассировки. Постановка задачи заключается в поиске оптимального решения размещения элементов с фиксированными расстояниями между рядами, с целью минимизации времени прохождения сигнала. То есть число и расположение допустимых посадочных мест для элементов заранее известно и фиксировано.

### Особенности реализации автоматизированной информационной системы поддержки принятия конструкторских решений электронных модулей

Для реализации системы автоматизации проектирования электронных модулей необходимо обладать базой элементов с определенными свойствами: габариты элемента (длина, ширина, высота), габариты посадочного места (длина, ширина), позиционное обозначение, номер ID СПВП, обозначение посадочного места, минимальный отступ от посадочного места и прочие производные данные, такие как площадь элемента/посадочного места и объем элемента.

Кроме того, система должна обладать информацией, уникальной для каждого типа элементов, представляющей собой накопленный опыт проектирования. Например, рекомендуемый тип припоя или необходимость приклеивать определенный корпус перед пайкой.

Также целесообразно реализовать возможность учета варианта формовки и установки элементов на плату (вплотную, с зазором, на прокладку, на клей и т. д.), с последующим подсчетом общей высоты посадочного места с установленным элементом.

На рис. 1 представлен пример исходных данных в виде электрической схемы, посадочных мест и 3-D-моделей элементов.

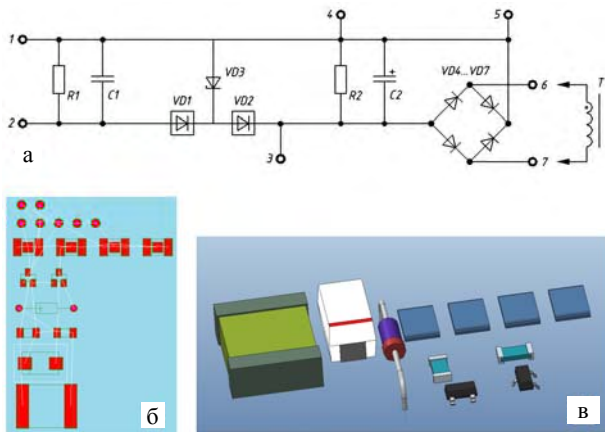


Рис. 1. Пример исходных данных: а – электрическая схема; б – посадочные места для элементов; в – 3D-модели элементов

Внешний вид интерфейса окна просмотра решений представлен на рис. 2. В нем можно выполнять предварительную сортировку элементов по различным критериям, указывать максимальные габариты будущего блока, выбирать минимальный допустимый зазор между элементами. Также интерфейс содержит кнопки запуска решения, просмотра возможных вариантов, вывода сравнительного графика и импорта выходного файла для передачи решения в машиностроительный САПР. Имеется окно предварительного просмотра компоновки. При использовании программы пользователь может вручную перемещать элементы и устанавливать их в определенные координаты.

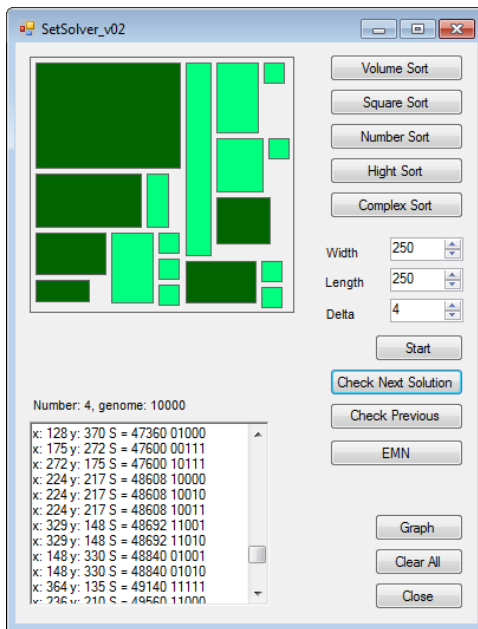


Рис. 2. Интерфейс окна просмотра решений

На рис. 3 представлены возможные варианты компоновок и их сравнительная гистограмма. Как видно, система предоставляет набор различных решений, указывает наилучшие из них по определенным критериям и позволяет пользователю самому выбрать подходящий для его задачи форм-фактор.

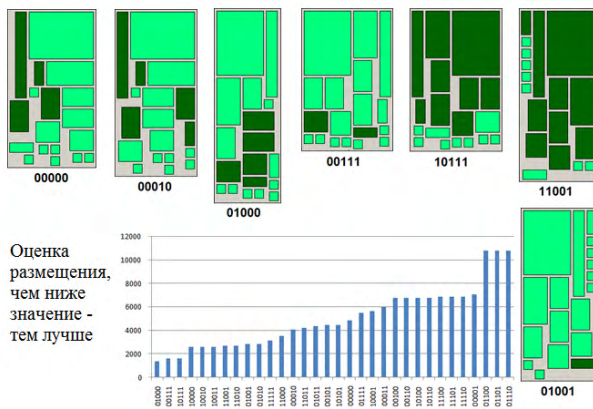


Рис. 3. Варианты компоновок и сравнительная гистограмма

Пример импорта выбранной компоновки в электронный и механический САПР представлен на рис. 4.

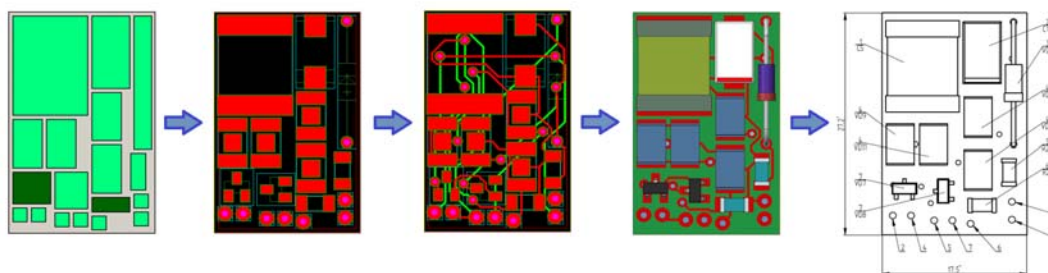


Рис. 4. Импорт выбранной компоновки в электронный САПР, создание проводящего рисунка, импорт в механически САПР и создание чертежа

## Заключение

Таким образом, была разработана система, позволяющая генерировать различные наборы решений, оценивать их и предлагать наилучшее. Быстрое действие алгоритма позволяет получать одно решение за 1,5 минуты при размещении 500 элементов произвольной формы с плотностью до 92 %. Количество различных решений определяется пользователем.

Помимо своей основной функции система позволяет реализовывать ручное перемещение, искать альтернативное место для выбранного компонента или устанавливать его в определенную координату, создавать различные наборы решений и количественно оценивать их качество, передавать данные по любому решению для дальнейшего проектирования в другие САПР.

В настоящий момент ведется разработка автоматизированного генератора списка технических тре-

бований на основе используемых элементов и принятых решений.

## Литература

1. Старостин Н. В., Силаев А. Н., Седых И. О. Многоуровневый эволюционно-генетический метод размещения прямоугольников // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, 2009. № 5. С. 163–168.
2. Ерошенко И. Н. Меметический алгоритм планирования СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. С. 55–62.
3. Ковалев А. В., Бушин С. А. Эволюционный метод размещения разногабаритных блоков СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. С. 45–53.
4. Лисяк М. В., Лежебоков А. А. Алгоритм многокритериального размещения элементов СБИС // Известия ЮФУ. Технические науки. С. 70–75.