

На правах рукописи

Новиков Илья Сергеевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ
ЭЛЕМЕНТОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЯХ ТРЕХМЕРНОЙ
КОМПОНОВКИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА**

Специальность 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва 2009

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете
им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: Член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор
Шахнов Вадим Анатольевич

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор
Назаров Александр Викторович

д.т.н., доцент
Филиппова Анна Сергеевна

Ведущее предприятие: Общество с ограниченной ответственностью
«Центральное проектно-конструкторское бюро ПЛМ»

Защита состоится 17 декабря 2009 г. в 16.30 на заседании
диссертационного совета Д 212.141.10 в Московском государственном
техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу 105005, г. Москва, 2-я
Бауманская ул., д.5

Отзыв на автореферат, заверенный печатью организации, просим
присылать по адресу 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э.
Баумана.

Автореферат разослан «__» _____ 2009 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета



к.т.н., доцент Иванов С.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Вопрос обеспечения нормального теплового режима электронной аппаратуры (ЭА) становится актуальным на фоне постоянно развивающейся миниатюризации ЭА, т.к. увеличение степени интеграции, плотности компоновки, удельных мощностей рассеивания микроэлектронных устройств ограничивается их тепловыми режимами. Не исключением в этом вопросе является и такое перспективное конструкторско-технологическое направление электроники как трехмерная компоновка ЭА.

Трехмерная компоновка основана на размещении бескорпусных элементов и соединений между ними не на плоскости печатной платы, а в трехмерном пространстве многослойного электронного модуля (далее - электронные модули трехмерной компоновки, ЭМТК). На сегодняшний день проявляется большой интерес к трехмерной компоновке, а ее освоение требует новых исследований. Большое количество разработок в этой сфере уже ведется за рубежом (компании Amkor Technology, 3D Plus, Irvine Sensors Corporation, VCI, Tezzaron Semiconductor и др.). Существуют и отечественные запатентованные разработки. Работы по применению трехмерной компоновки начаты в НИИ Аргон, НИИСИ РАН, МНПО Спектр и др. Наиболее востребованы ЭМТК в области транспортируемой ЭА, особенно в классах бортовой авиационной и космической аппаратуры, а также автомобильной электроники.

В настоящее время разработка всей ЭА не обходится без применения САПР. Автоматизация конструкторского проектирования достигла высокой степени формализации применительно к таким хорошо освоенным конструктивам электроники, как печатные платы, микросборки (МСб), интегральные и гибридные микросхемы (ИМС). Иначе обстоит дело с трехмерной компоновкой. В большей мере, это следствие того, что ЭМТК появились на рынке относительно недавно, и их разработка и производство еще не вышло на массовый уровень. И, как следствие, еще отсутствует хорошо проработанная теоретико-математическая база, на которой бы основывались САПР ЭМТК. Это делает актуальной разработку методов и алгоритмов автоматизации конструкторского проектирования ЭМТК.

Одним из важнейших этапов конструкторского проектирования является размещение элементов внутри устройства. На этом этапе целесообразно определять такое расположение дискретных источников тепла (электронных элементов), которое обеспечивает нормальный тепловой режим работы ЭМТК. Такую задачу для краткости будем называть задачей «теплового» размещения или размещением по тепловому критерию. Она состоит в поиске такого взаимного расположения элементов, при котором снижение надежности ЭМТК, вызванное перегревом этих элементов, будет минимально возможным. Иными словами, решается задача минимизации суммарной интенсивности отказов ЭМТК в условиях воздействия только тепловых факторов.

Существует множество алгоритмов для решения задачи размещения. Но в большинстве эти алгоритмы ориентированы на проектирование ЭА двумерной компоновки (печатные платы, МСб, ИМС). Для учета особенностей трехмерной компоновки требуется разработка новых алгоритмов. Автоматизация «теплового» размещения в ЭМТК может быть реализована с помощью генетических алгоритмов (ГА). Данный класс алгоритмов основан на имитации биологической эволюции и реализует случайно-направленный поиск на множестве решений.

Генетические алгоритмы были предложены в 60-х годах прошлого столетия Джоном Холландом. В дальнейшем идеи Холланда были развиты в трудах Д. Голдберга, К. Де Йонга и др. Значительный вклад в решение задач эволюционного моделирования внесли Батищев Д.И., Букатова И.Л., Курейчик В.В., Курейчик В.М., Мухачева Э.А., Норенков И.П., Филиппова А.С. и др.

ГА зарекомендовали себя во многих задачах структурного синтеза, которые подразумевают поиск оптимального решения. К таким задачам относятся компоновка элементов по блокам, двумерное размещение элементов на печатных платах и БИС, раскрой и упаковка и др. Для перечисленных задач на достаточном уровне достигнута формализация и проведено множество исследований, широко освещенных в публикациях. При этом задача «теплового» размещения разногабаритных элементов в ЭМТК является новой и мало исследованной.

Отсюда становится очевидной актуальность разработки новых методик и алгоритмов для автоматизации конструкторского проектирования ЭМТК. Потребность в исследовании вопроса «теплового» размещения элементов в ЭМТК определила цель данной диссертационной работы.

Целью работы является разработка методики решения задачи «теплового» размещения в ЭМТК для реализации их автоматизированного проектирования и повышения показателей надежности ЭМТК на этапе проектирования.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

1. Разработка математической модели теплового распределения в ЭМТК на основе анализа их конструктивных особенностей.
2. Определение способа получения оценки формируемых решений на основе выбранного критерия оптимизации.
3. Разработка проблемно-ориентированных компонентов генетического поиска, к которым относятся структура особи, способ ее кодирования, модифицированные генетические операторы.
4. Разработка модификации генетического алгоритма, позволяющей наиболее эффективно решать задачу размещения элементов в ЭМТК.
5. Экспериментальная оценка эффективности разработанного генетического алгоритма.

Методы исследования. В работе используются основные положения математической физики (теория тепломассообмена), численные методы для

расчета теплового распределения в конструкции ЭМТК; элементы теории множеств; методы генетического поиска; объектно-ориентированное программирование для разработки программного приложения, реализующего ГА. Для анализа эффективности разработанных алгоритмов применяется численный эксперимент.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана методика автоматизированного размещения элементов в электронных модулях трехмерной компоновки на основе теплового критерия.

2. Генетический алгоритм впервые применяется для решения такой новой и малоисследованной прикладной задачи, как «тепловое» размещение разногабаритных элементов в ЭМТК.

3. Предложен способ кодирования решения задачи в многохромосомную структуру, где в общем случае отдельные хромосомы гетероморфны (отличаются размерами) и содержат двойной набор аллелей.

4. Предложена новая модификация генетического алгоритма, основанная на разделении множества потенциальных решений задачи на отдельные виды. Показана эффективность предложенной модификации.

Практическую ценность работы представляет реализация разработанной методики в виде программы для ЭВМ. Данная программа осуществляет автоматизированное размещение элементов ЭМТК по «тепловому» критерию. Это дает возможность сократить в целом время разработки конструкции ЭМТК, а также обеспечить повышение надежности ЭМТК в процессе его конструкторского проектирования. Выходные данные, формируемые программой, могут быть использованы в существующих конструкторских САПР трехмерного моделирования для создания трехмерной геометрической модели ЭМТК с целью детальной доработки конструкции, проведения инженерного анализа, формирования конструкторской и технологической документации, подготовки производства.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы использованы в проектной деятельности ОАО Владимирское конструкторское бюро радиосвязи, ОАО Автогаз ассоциации Спектр-Групп и в учебном процессе кафедры проектирования и технологии производства электронной аппаратуры МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация работы и публикации. Основные положения и результаты работы были доложены на 9, 10 и 11-й Молодежных международных научно-технических конференциях Научные технологии и интеллектуальные системы (Москва, 2007, 2008, 2009), 15-й Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов Радиоэлектроника, электротехника и энергетика (Москва, 2009). По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 4 в журналах, рекомендованных ВАК, в том числе получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения с общими выводами по работе, списка литературы и приложения. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, и содержит 50 рисунков. Библиографический список включает 101 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы, поставлена цель работы, сформулированы задачи исследования, отражена научная новизна, дано общее описание выполненной работы.

В первой главе проведен анализ существующих конструктивно-технологических методов компоновки электронных узлов; рассмотрена конструкция электронных модулей трехмерной компоновки; приводится аналитический обзор математических моделей теплового распределения и методов их расчета, алгоритмов размещения элементов; рассматриваются известные модификации ГА.

Теоретически наибольшая плотность компоновки и самые короткие межсоединения могут быть достигнуты с помощью конструкторско-технологического метода трехмерной компоновки. Большинство существующих сегодня вариантов трехмерной компоновки используют схожие конструктивы - набор микроплат, собирающихся параллельно друг другу в пакет (рис.1). На микроплатах или внутри них размещены бескорпусные элементы. Проводники наносятся как на лицевые поверхности микроплат, так и на торцы пакета из микроплат. Сборка из микроплат помещается в корпус.

Благодаря трехмерной компоновке повышается плотность расположения элементов внутри модуля, значительно сокращается объем и масса ЭА. Кроме того, за счет распределения всех электронных элементов по отдельным микроплатам упрощается разводка проводников между элементами. Это объясняется тем, что каждая микроплата содержит относительно невысокое количество элементов по сравнению с технологией двумерной компоновки, когда все элементы размещаются на одной плате.

Для расчета температур элементов требуется проведения теплового анализа ЭМТК. В зависимости от особенностей объектов теплового анализа применяются различные математические модели – модели с сосредоточенными параметрами, одномерные и многомерные модели. Поскольку в ЭМТК элементы распределены в объеме модуля, то наиболее целесообразным является использование многомерной (трехмерной) модели теплового распределения.

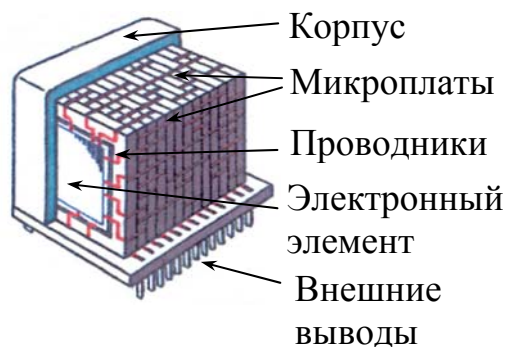


Рис.1. Электронный модуль трехмерной компоновки

Всю совокупность алгоритмов размещения можно разделить на следующие основные группы: алгоритмы, основанные на точных математических моделях задачи размещения; конструктивные алгоритмы начального размещения; итерационные алгоритмы; алгоритмы, реализующие физические или биологические модели. В настоящее время большое внимание уделяется разработке методов, относящихся к последней группе. К одному из таких методов относят генетические алгоритмы (ГА).

ГА, являясь случайно-направленными методами поиска на множестве решений, эффективно используются для решения NP-полных задач САПР. Гибкость структуры генетического алгоритма, отсутствие жесткой детерминированности позволяют организовать такую процедуру поиска, которая обеспечивает во многих случаях получение лучшего результата по сравнению с другими методами. Кроме того ГА дают возможность осуществлять поиск в неметризуемом пространстве параметров, содержат элементы адаптации и распараллеливания процессов в ходе своего выполнения.

Эффективность ГА, которая может быть оценена степенью приближения результатов к оптимальному значению, далеко не всегда оказывается удовлетворительной. В связи с этим существует множество разновидностей и модификаций ГА, нацеленных на повышение их эффективности. Так в данной главе рассматриваются такие известные разновидности генетических алгоритмов как параллельный ГА, гибридный ГА, метод комбинирования эвристик, смешанный эволюционный метод, метагенетический алгоритм.

Во второй главе определен набор исходных данных, необходимых для выполнения размещения по «тепловому» критерию; предложена структура и способ кодирования/декодирования особи; разработана математическая модель теплового распределения в ЭМТК; определен вид функции пригодности особи и способ ее расчета; разработаны генетические операторы, соответствующие структуре особи.

Для реализации генетического поиска наилучшего варианта «теплового» размещения требуется следующий набор исходных данных: множество электронных элементов, сгруппированных по микроплатам ЭМТК; габаритные размеры микроплат и элементов, некоторые метрические параметры конструкции ЭМТК; величины мощностей, рассеиваемых элементами в виде тепла; величины теплопроводностей материалов микроплат и элементов; тепловые граничные условия на торцах ЭМТК; параметры элементов, используемые для расчета интенсивностей отказов.

Специфика решаемой задачи накладывает отпечаток на структуру особи, вид функции пригодности и генетические операторы.

При разработке способа кодирования потенциального решения (особи) определяется необходимый состав управляемых параметров. Варьирование значениями этих параметров и составляет суть генетического поиска. Учитывая особенности типовой конструкции ЭМТК, можно сказать, что к управляемым

параметрам следует отнести данные о взаимном расположении группы элементов в пределах одной микроплаты (координаты элементов), а также данные о порядке следования микроплат в пакете при сборке электронного модуля. Тогда каждая особь должна содержать:

- n наборов генов, где n – количество микроплат с элементами, а каждый из этих наборов определяет состав элементов и их взаимное расположение в пределах своей микроплаты;
- один набор генов, определяющий последовательность расположения микроплат в пакете.

Будем называть каждый из набора генов, определяющих расположение элементов, Е-хромосомой, а набор генов, отвечающий за порядок микроплат – М-хромосомой. Таким образом, каждая особь состоит из одной М-хромосомы и из n Е-хромосом.

Задачу размещения элементов в объеме ЭМТК можно разделить на несколько подзадач двумерного размещения групп элементов внутри каждой микроплаты. Для реализации двумерного размещения предлагается использовать метод размещения «левый нижний угол». Он относится к безуровневым стратегиям формирования упаковок прямоугольных блоков в задаче раскроя-упаковки (Packing Problem) и не является собственно методом поиска оптимального размещения. Вместе с этим он позволяет эффективно размещать разногабаритные элементы без привязки к фиксированным позициям на микроплате, что характерно для ЭМТК. Особенностью данного метода является то, что каждый размещенный элемент не может быть сдвинут влево и вниз. Для формирования корректных вариантов размещения с помощью данного метода вводятся геометрические ограничения в виде условий ортогонального размещения прямоугольников, описывающих контуры элементов, и отсутствия пересечения этих прямоугольников.

В методе размещения «левый нижний угол» элементы размещаются последовательно, друг за другом. Поэтому в хромосоме достаточно хранить информацию о последовательности размещения элементов. На рис. 2 представлен пример топологии, полученной в результате размещения последовательности элементов А, D, С, F, В, Е, среди которых А, В, F, Е должны иметь горизонтальную (относительно длинной стороны элемента), а элементы D и С вертикальную ориентацию. В качестве стратегии выбора вакантного места использовано размещение в точку, которая имеет наименьшую Y-координату среди всех прочих вакантных мест.

Пусть каждому гену в Е-хромосоме

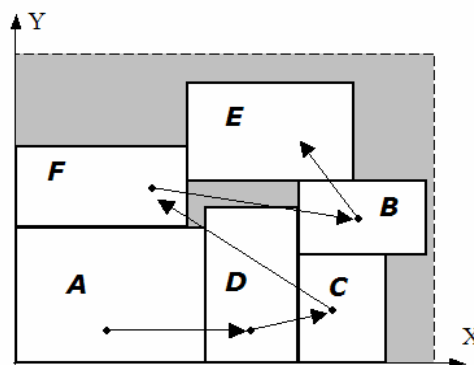


Рис. 2. Принцип размещения «левый нижний угол»

соответствует один элемент из группы. Тогда аллелем данного гена является имя этого элемента, а локус этого гена зависит от порядка размещения элемента. Для учета ориентации элемента введем дополнительный аллель для каждого гена – аллель ориентации. Значение аллеля ориентации равно «0», если элемент ориентирован вертикально, и равно «1», если элемент ориентирован горизонтально. На рис. 3 показана E-хромосома для приведенного выше примера.

В структуре M-хромосомы используются только один тип аллелей – аллели имен микроплат. Порядок генов M-хромосомы определяет порядок микроплат в ЭМТК. На рис. 4 представлен пример M-хромосомы для ЭМТК, состоящего из 6-ти микроплат.

Аллели имен	A	D	C	F	B	E
Аллели ориентации	1	0	0	1	1	1

Рис. 3. E-хромосома

2	4	1	3	6	5
---	---	---	---	---	---

Рис. 4. M-хромосома

Учитывая особенность конструкции ЭМТК, важно отметить, что хромосомы, составляющие особь будут иметь, как правило, относительно невысокую длину (не более 30-40 генов), что объясняется распределением всего множества элементов по отдельным микроплатам.

Процесс декодирования применяется для «расшифровки» имеющихся особей и заключается в размещении элементов на микроплатах. В результате декодирования определяются значения управляемых параметров – координат (X,Y,Z) левых нижних углов «лицевой» части элементов. Данные о размещении элементов в объеме ЭМТК используются для оценки качества особи согласно функции пригодности (fitness function).

Решение задачи «теплого» размещения заключается в минимизации значения функции пригодности (ФП) особи. Очевидно, что использование «теплого» критерия подразумевает расчет распределения температурного поля внутри ЭМТК на основе известных геометрических и физических параметров микроплат и элементов, выделяемых мощностей элементов и заданных граничных условий. Расчет температурного распределения базируется на трехмерном стационарном линейном механизме переноса тепла в твердых телах (уравнение теплопроводности).

Поскольку математический расчет модели, которая наиболее полно и точно описывает температурное распределение внутри ЭМТК, требует больших затрат машинного времени, был принят ряд допущений, упрощающих в определенной степени математическую модель. К ним относятся изотропность материалов микроплат и элементов, идеальный тепловой контакт между соприкасающимися частями ЭМТК и др. Тепловая модель ЭМТК представляет собой параллелепипед, габариты которого совпадают с габаритами пакета микроплат. Между микроплатами присутствуют слои электроизоляционного материала. В параллелепипед пакета микроплат «вкраплены» параллелепипеды меньшего

размера – электронные элементы, обладающие теплопроводностью и являющиеся объемными источниками тепла (рис. 5). Математическая модель теплового распределения включает в себя систему уравнений теплопроводности для всех точек пространства внутри ЭМТК, условий непрерывности тепловых потоков и равенства температур на границе двух тел и набора граничных условий на торцах ЭМТК. Разработанная модель является применимой к большинству конструктивных вариантов реализации ЭМТК.

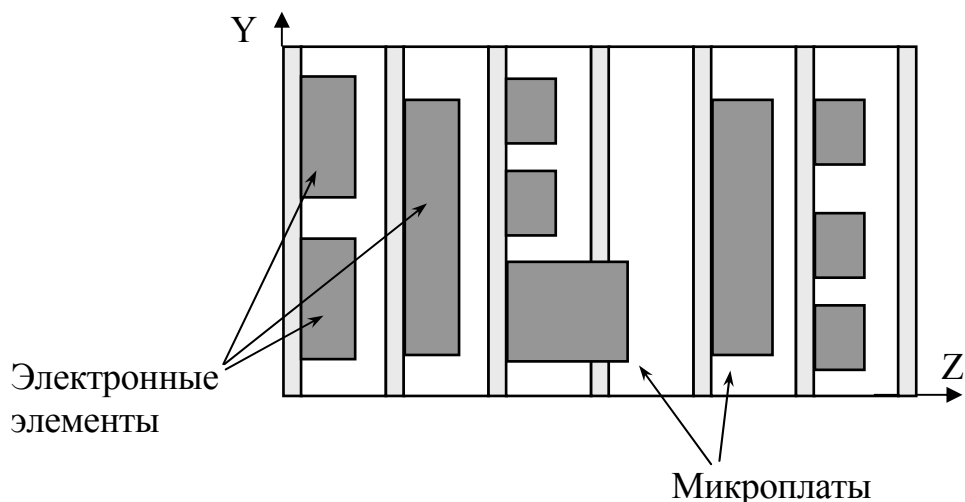


Рис. 5. Тепловая модель ЭМТК. Срез в плоскости YZ

Расчет модели осуществляется с помощью метода конечных разностей (МКР). Выбор именно этого метода, по сравнению, например, с методом конечных элементов, объясняется следующими причинами. Во-первых, МКР является более простым в реализации и требует меньших временных затрат. Во-вторых, объект (ЭМТК), «разбиваемый» на элементарные объемы, имеет прямолинейные границы внешних и внутренних областей, и поэтому аппроксимации с помощью МКР оказывается достаточно.

По результатам расчета температурного распределения в ЭМТК находятся максимальные значения температуры каждого элемента. Далее на основе этих значений, а также ряда других исходных данных, для каждого элемента рассчитывается значение интенсивности отказов λ_i . В общем случае для всех электронных элементов (транзисторы, диоды, кристаллы микросхем, резисторы, конденсаторы) интенсивность отказов имеет экспоненциальную зависимость от температуры. Суммарное значение всех интенсивностей отказов, помноженное на ряд коэффициентов, составляет общую интенсивность отказов ЭМТК и принимается за значение ФП конкретной особи:

$$\lambda_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^m \lambda_i \right] \cdot (1 + 0.2K_{BY}) \cdot K_{\Phi} \cdot K_K \cdot K_{OB},$$

где K_{BY} – коэффициент, учитывающий область применения модуля, K_{Φ} – коэффициент, учитывающий функциональность модуля, K_K – коэффициент

качества модуля, $K_{об}$ – коэффициент обучения (освоенности производства). Таким образом, решаемая задача поиска наилучшего теплового размещения элементов состоит в поиске наименьшего значения функционала λ_{Σ} и является задачей однокритериальной оптимизации.

Отметим, что принятая структура особи и предложенный способ оценки решения подходит для большинства существующих вариантов реализации ЭМТК. Этим обеспечивается определенная универсальность разрабатываемой методики «теплового» размещения элементов.

К основным и наиболее используемым генетическим операторам относят кроссовер, мутацию и селекцию. Принятая структура особи во многом влияет на реализацию кроссовера и мутации как операторов, модифицирующих генную информацию особи. В связи с особенностями структуры особи были разработаны модифицированные операторы, использующие механизмы обычных операторов кроссовера и мутации, но отличающиеся своим применением к различным частям особи.

Кроссовер М-хромосомы (М-кроссовер) представляет собой оператор кроссовера, применяющийся к М-хромосомам двух родительских особей и формирующий две особи-потомка. В зависимости от количества точек разрыва М-кроссовер может быть одноточечным, двухточечным, многоточечным и однородным (универсальным). Так в случае одноточечного М-кроссовера первый потомок получает набор генов слева от точки разрыва первого родителя, и набор генов справа от точки разрыва второго родителя.

В результате рекомбинации генов некоторые аллели потомков могут повторяться, а некоторые в этом случае будут наоборот отсутствовать. В этом случае производится процедура коррекции генов методом РМХ (Partially Matched Crossover). После коррекции генов все аллели в пределах одной хромосомы становятся уникальными.

Особенность М-кроссовера заключается в том, что у потомков наследуются не только гены М-хромосом, но и происходит наследование соответствующих Е-хромосом. Например, при одноточечном кроссовере у первого потомка в М-хромосоме слева от точки разрыва будут идти номера Е-хромосом (микрочип) первого родителя, а справа от точки разрыва – номера Е-хромосом второго родителя.

Кроссовер Е-хромосомы (Е-кроссовер) представляет собой кроссовер, применяющийся к паре одноименных Е-хромосом двух родительских особей. Формирование потомков происходит аналогично М-кроссоверу. Но при наследовании генов наследуются как аллели имени, так и аллели ориентации. При необходимости выполняется коррекция генов методом РМХ.

Кроссовер особей (F-кроссовер) представляет собой сочетание одного М-кроссовера для М-хромосом родительских особей и набора Е-кроссоверов для всех соответствующих Е-хромосом родительских особей. Результатом F-кроссовера являются два потомка, которые далее подвергаются мутациям.

Мутация М-хромосомы (М-мутация) представляет собой вариант мутации, когда два случайно выбранных гена в М-хромосоме с вероятностью P_m меняются местами. **Мутация имен Е-хромосомы (ЕН-мутация)** аналогична М-мутации, но применяется с вероятностью P_m к конкретной Е-хромосоме особи и производит обмен как аллелей имен, так и аллелей ориентации. **Мутация ориентаций Е-хромосомы (ЕО-мутация)** с вероятностью P_m изменяет ориентацию одного случайно выбранного элемента в Е-хромосоме. Если элемент имел вертикальную ориентацию в микроплате, его ориентация меняется на горизонтальную, и наоборот.

Необходимость использования описанных выше генетических операторов объясняется следующим. Во-первых, элементами популяции являются не одиночные хромосомы, а многохромосомные особи. Классические операторы кроссовера и мутации применяются к одиночным хромосомам, тогда как в нашем случае рассматривается скрещивание и мутация целых особей. Это требует описания правил, по которым происходит изменение хромосом как составных частей особи. Такие правила и реализуются в виде предложенных генетических операторов. Во-вторых, значение гена М-хромосомы определяется одним аллелем, а для гена Е-хромосомы – двумя. Такие различия в структуре генов делают необходимым разделение генетических операторов на Е-операторы и М-операторы. Очевидно, что в этом случае реализация Е-операторов будет несколько отличаться от реализации М-операторов, тогда как использование классических операторов кроссовера и мутации не позволит в полной мере реализовать необходимые механизмы модификации особи.

Помимо предложенных операторов кроссовера и мутации для реализации ГА применялись известные виды оператора селекции («колесо рулетки», турнирная селекция, элитная селекция, равновероятностный выбор). Оператор редукции использовался для поддержания постоянного размера популяции за счет удаления необходимого количество особей с наихудшими значениями ФП. Популяция, полученная после редукции, представляла собой очередное поколение особей.

На основе разработанных модификаций генетических операторов возможно построить любую из описанных в главе 1 разновидностей ГА для решения задачи «теплового» размещения элементов в ЭМТК.

В третьей главе описаны экспериментальные исследования параметров простого ГА, выполнен анализ полученных результатов, даны рекомендации по выбору значений отдельных параметров ГА для обеспечения наибольшей эффективности генетического поиска.

Для проведения численных экспериментов была разработано программное приложение, реализующее генетический поиск с возможностью варьирования параметров ГА и использования различных модификаций ГА.

Эффективность каждой конкретной реализации генетического алгоритма зависит от ряда составляющих – от вида применяемых генетических операторов,

от параметров генетических операторов, от размера популяции особей, от длины хромосом.

Для исследования влияния вероятности мутации на эффективность генетического поиска было принято, что вероятности М-, ЕО- и ЕN-мутаций равны между собой. Исследование показало, что существует такой диапазон вероятностей мутации, при котором генетический алгоритм обеспечивает наилучшее приближение к известному глобальному экстремуму по сравнению с другими вероятностями мутации. Исследование проводилось для разных исходных данных и с рассмотрением различных размеров популяций. Для всех рассмотренных условий этот диапазон приблизительно совпадал и составлял $\{0,05 - 0,2\}$.

Для оценки влияния оператора кроссовера рассматривались одноточечный (FC1), двухточечный (FC2), многоточечный (FCN) и равномерный (FCU) F-кроссоверы. В результате экспериментов выявлено, что на эффективность кроссовера влияют такие параметры, как длина хромосомы, размер популяции и вероятность мутации. При длинах хромосом более 15-20 генов, размере популяции не менее 10 особей и вероятности мутации 0.1 наилучшую эффективность показывает многоточечный кроссовер, а наихудшую одноточечный (рис. 6). Уменьшение длины хромосом приводит к «выравниванию» эффективностей рассмотренных видов кроссовера. Увеличение интенсивности мутации (до 0,4-0,5) с сокращением размера популяции (менее 10) делает одноточечный кроссовер более эффективным по сравнению с другими кроссоверами.

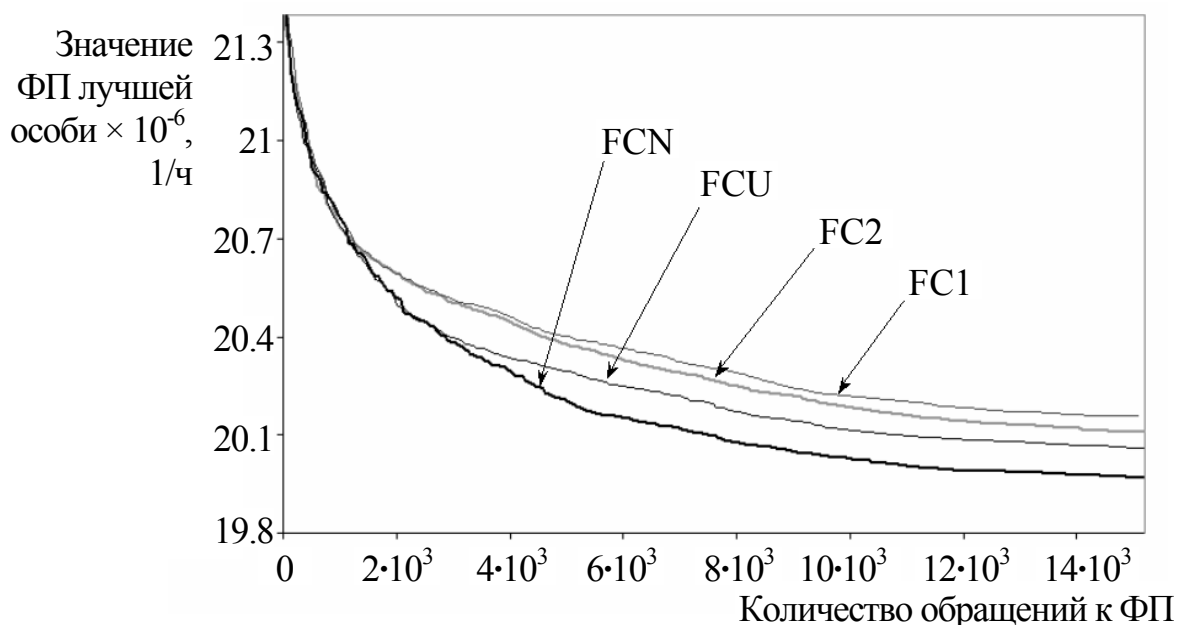


Рис. 6. Результаты генетического поиска при сравнении операторов кроссовера

Экспериментальные исследования операторов селекции показали, что главным образом на эффективность того или иного вида селекции влияет численность популяции. В эксперименте сравнивались равновероятностная селекция (RND), селекция «колесо рулетки» (RW), турнирная селекция (TRN) и элитная селекция (ELT). При размере популяции более 10 особей элитная и турнирная селекция обладают примерно равной эффективностью и обеспечивают лучшее приближение к известному глобальному минимуму, чем «колесо рулетки» и равновероятностная селекция (рис. 7). Уменьшение размера популяции до 8 особей приводит к заметному выравниванию эффективностей рассматриваемых видов селекции.

Исследования влияния численности популяции на эффективность поиска в целом показали, что при отсутствии требований к высокой степени приближения результата к глобальному оптимуму наиболее предпочтительными оказываются популяции малого размера (6-15 особей).

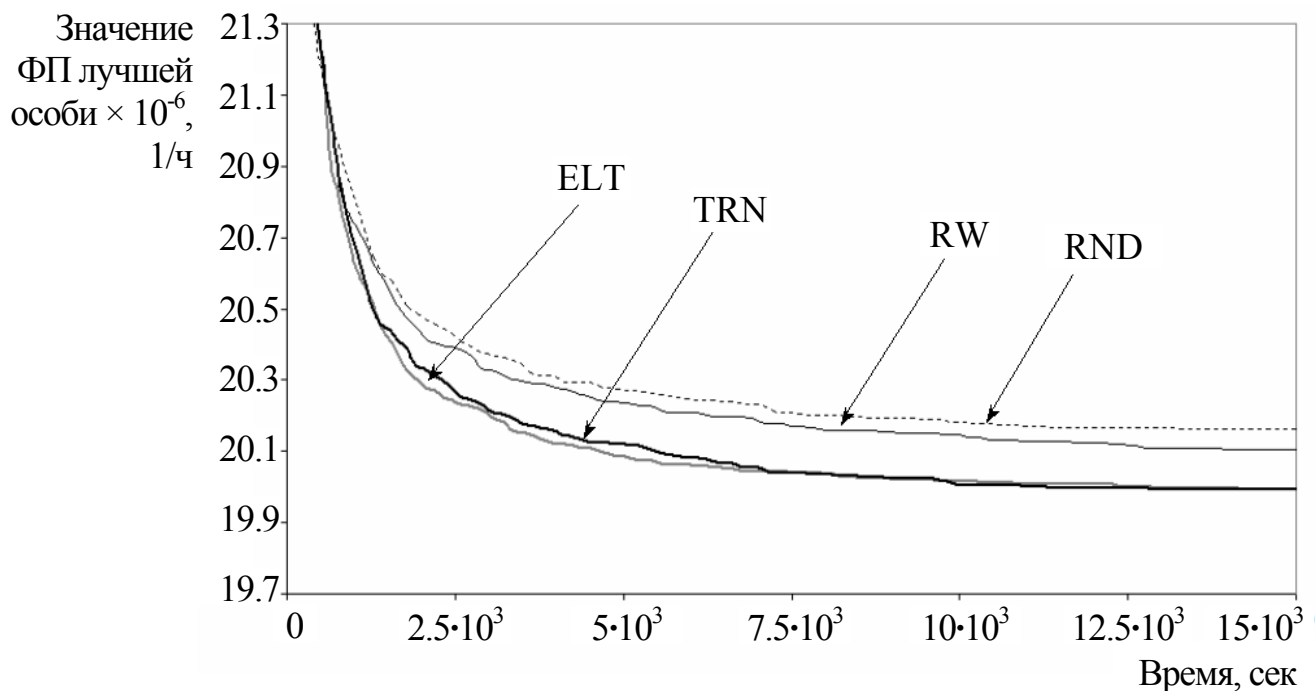


Рис. 7. Результаты генетического поиска при сравнении операторов селекции

В четвертой главе предложена модификация генетического алгоритма, основанная на выделении отдельных видов особей из общей популяции; приводятся результаты экспериментального сравнения эффективности предложенной модификации с рядом других видов генетических алгоритмов применительно к задаче «теплового» размещения в ЭМТК.

Принятая структура особи позволяет предложить архитектуру ГА, несколько отличающуюся от рассмотренных в первой главе модификаций ГА. Основная идея нового предлагаемого подхода заключается в разделении всех возможных

особей на отдельные виды. Отсюда происходит и название новой предлагаемой модификации ГА – видовой генетический алгоритм (ВГА).

Под **видом**, в зависимости от смыслового контекста, понимается:

1) либо область решений задачи, в которой все возможные особи имеют одинаковые М-хромосомы,

2) либо некоторая подпопуляция особей с одинаковыми М-хромосомами.

Начальная популяция состоит из K видов, каждый из которых содержит N особей одного вида. Назовем **контрольным периодом** последовательность из T поколений. Введение контрольного периода позволяет представить процесс общей эволюции в виде последовательности дискретных временных интервалов, за каждый из которых происходит смена T поколений. В течение контрольного периода каждый вид предоставлен самому себе и развивается обособленно от других – внутривидовая эволюция.

По истечении T поколений на основе значений ФП особей текущей популяции конкретного вида делается заключение о приближении этого вида к состоянию стагнации (вырождения), что соответствует попаданию в локальный экстремум. Если признано, что виду «угрожает» стагнация, то производится вмешательство в естественный процесс эволюционирования этого вида – вид модифицируется. Модификация вида состоит в изменении М-хромосомы для всех «ныне живущих» особей данного вида.

После завершения одного контрольного периода начинается очередной контрольный период. Если вид не был модифицирован после предыдущего контрольного периода, то в новом контрольном периоде он продолжает свою эволюцию без изменений.

Для реализации ВГА применяются варианты генетических операторов, описанных выше. Так внутривидовая эволюция представляет собой обычный ГА с элементами локального поиска. Для реализации внутривидового ГА используется Е-кроссовер, а локальный поиск реализован в виде повторений EN- и ЕО-мутаций, проводимых для потомков кроссовера, пока эти потомки не улучшат свои ФП. Механизм модификации видов может быть реализован с помощью М-мутации, а также с помощью М-кроссовера, если использовать два «выродившихся» вида.

При решении задач синтеза экстремальное значение, как правило, неизвестно. Поэтому оценка эффективности разрабатываемой модификации генетического алгоритма может быть дана только в сравнении с результатами решения задачи альтернативными ГА. Для сравнительной оценки предложенного видового генетического алгоритма (КГА) были использованы простой ГА (СГА), параллельный ГА (РГА), метагенетический алгоритм (МГА) и смешанный эволюционный метод (ММЕМ).

В результате серии экспериментов с различными исходными данными выявлено, что наилучшее приближение к известному глобальному оптимуму за меньшее время достигается с помощью видового ГА (рис. 8). Из графика также

видно, что параллельный ГА быстро сходится на первой половине эволюции, но затем проявляет признаки попадания в локальный оптимум и проходит близко с кривой простого ГА. Эффективность ММЕМ заметно зависит длины хромосом в особях. При длине хромосом более 30 генов ММЕМ превосходит параллельный и простой ГА. Метагенетический алгоритм показал медленную сходимость вследствие особенностей своей архитектуры (большие временные затраты на оценку конфигурационной популяции), однако по степени приближения к известному глобальному оптимуму в итоге превзошел CGA, PGA и ММЕМ.

На основе экспериментальных данных также произведена оценка эффективности процесса «теплого» размещения как способа повышения надежности ЭМТК. Так при использовании ВГА удается снизить интенсивность отказов ЭМТК в среднем на 10-15% по сравнению с вариантом размещения, полученным случайным образом.

В завершении главы в общем виде сформулирована методика решения задачи автоматизированного «теплого» размещения элементов в ЭМТК на основе генетического алгоритма.

В заключении сделаны общие выводы по проделанной работе и полученных результатах, приведены соответствующие рекомендации.

В приложении приводятся основные данные по разработанной программе для ЭВМ: блок-схема алгоритма работы, среда разработки, количество операторов, требуемый объем памяти, описание выходных данных и др.

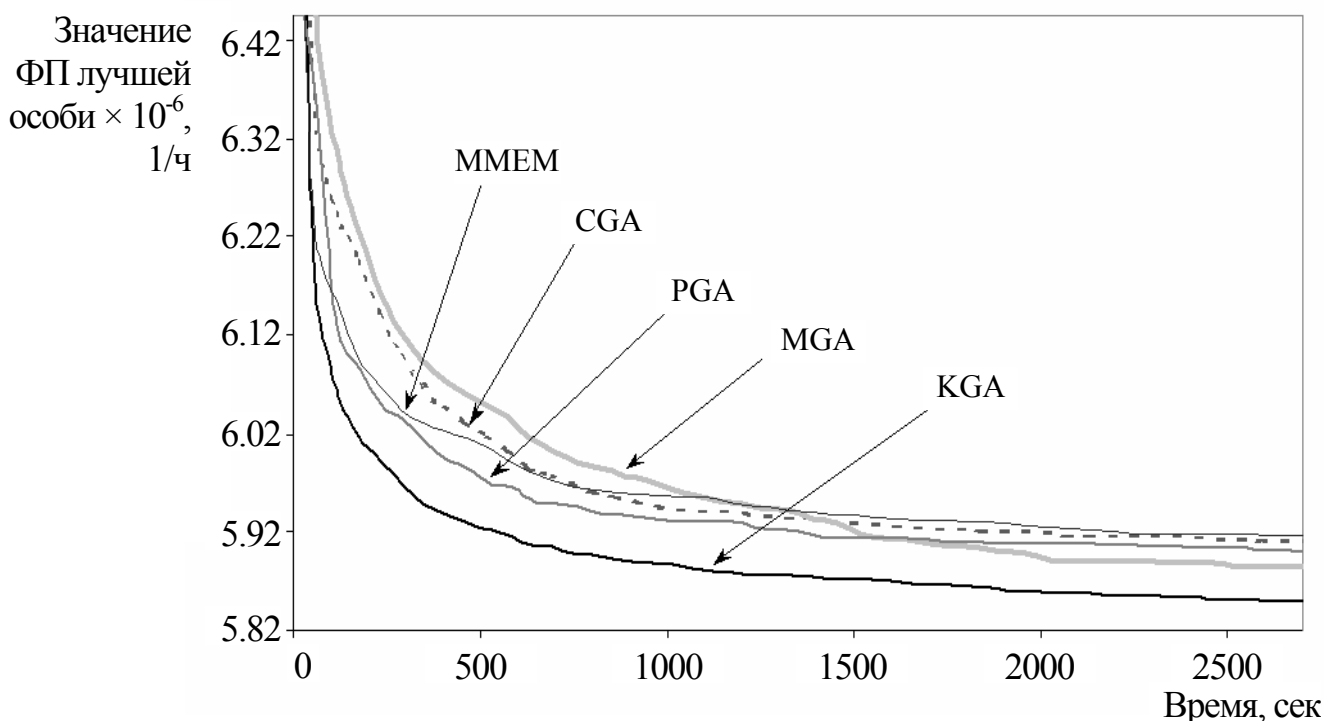


Рис. 8. Результаты генетического поиска при сравнении различных ГА

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Главным научным результатом работы является разработка методики автоматизации размещения по тепловому критерию в электронных модулях трехмерной компоновки на базе генетического алгоритма. Данная методика позволяет производить поиск варианта размещения, который обеспечивает минимальную интенсивность отказов ЭМТК за счет уменьшения перегревов элементов.

Основные научные теоретические и практические результаты работы состоят в следующем:

1. Разработана математическая модель теплового распределения в ЭМТК, учитывающая конструктивные особенности ЭМТК. Для расчета температур элементов в ЭМТК целесообразно использовать метод конечных разностей.

2. Разработаны компоненты генетического алгоритма для задачи размещения. Кодированное решение задачи (особь) представляет собой многохромосомную структуру, где в общем случае отдельные хромосомы гетероморфны (отличаются размерами) и содержат двойной набор аллелей. Предложенные модификации генетических операторов кроссовера и мутации позволяют работать с многохромосомной структурой особи.

3. Разработана новая модификация генетического алгоритма - видовой генетический алгоритм. Экспериментальная оценка эффективности ВГА применительно к задаче теплового размещения показала, что он по сравнению с рядом других рассмотренных генетических алгоритмов обеспечивает лучшую степень приближения к глобальному экстремуму за меньшее время работы. Отсюда следует, что ВГА целесообразно использовать для теплового размещения в ЭМТК.

4. Ожидаемое снижение интенсивности отказов ЭМТК за счет применения ВГА составляет около 10-15% по отношению к варианту размещения элементов, полученному случайным образом.

5. Экспериментальное исследование ряда генетических алгоритмов для решения задачи теплового размещения в ЭМТК показало что:

- Наибольшая эффективность генетического поиска обеспечивается при значениях вероятности мутации в диапазоне $\{0,05 - 0,2\}$.
- При размере популяции более 10 особей наиболее эффективными среди рассмотренных видов селекции являются турнирная и элитная.
- Количество точек разрыва мало влияет на эффективность кроссовера при малой длине хромосомы, следовательно, применение смешанного эволюционного метода обосновано при длинах хромосом более 30-40 генов.
- Применение метагенетического алгоритма обосновано для случаев, когда время оценки ФП одной особи является достаточно малым, либо когда нет жестких ограничений на время работы алгоритма.
- Выбор большого размера популяции (более 30-40 особей) обоснован в случае отсутствия требований к времени работы алгоритма, а также в случае

необходимости получения решения, обладающего высокой степенью приближения к глобальному оптимуму.

РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Новиков И.С. Автоматическое размещение разногабаритных электронных элементов посредством генетического поиска с миграцией // Проектирование и технология электронных средств. - 2007. - №1. - С. 33-38.
2. Новиков И.С, Шахнов В.А. Оптимизация конструкции электронных модулей трехмерной компоновки по тепловому критерию // Проектирование и технология электронных средств. – 2007. - №3. - С. 31-37.
3. Новиков И.С, Шахнов В.А. Теоретические аспекты оптимизации теплового режима трехмерных электронных модулей посредством генетического алгоритма // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. – 2009. – №1. – С. 112-123.
4. Новиков И.С, Шахнов В.А. Практическая реализация оптимизации теплового режима трехмерных электронных модулей посредством генетического алгоритма // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. – 2009. – №2. – С. 62-71.
5. Новиков И.С. Программное решение по автоматизации проектирования электронной аппаратуры трехмерной компоновки // Научно-технические системы 2006: Сб. науч. трудов 8-й Молодежн. научно-техн. конф. – М., 2006. – С. 74-77.
6. Новиков И.С. Формирование конструкций электронных модулей трехмерной компоновки, оптимальных по тепловому критерию с помощью генетического алгоритма // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. 15-й Междунар. научно-техн. конф. студентов и аспирантов; в 3-х т. – М., 2009. – Т1. – С. 303-304.
7. Новиков И.С. Генетический метод синтеза размещения элементов в трехмерных электронных модулях // Научно-технические системы 2009: Сб. науч. трудов 11-й Молодежн. международн. научно-техн. конф. – М., 2009. – С. 170-176.
8. Автоматизация теплового размещения элементов в электронных модулях трехмерной компоновки: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2009612607 / И.С. Новиков – заяв. №2009611544 от 08.04.09; зарег. 22.05.09.