

Согласно данным табл. 1, данный алгоритм способен функционировать в малогабаритных, малопотребляющих устройствах с высоким быстродействием. Таким образом, предложенный подход к оптимизации аппаратуры ПЛИС позволяет существенно снизить энергопотребление, позволит функционировать устройствам в более жестких условиях без принудительного охлаждения, обеспечивая тем самым функционирование разностного корреляционного алгоритма без каких-либо сокращений или деградации характеристик.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтаов Б.А., Стротов В.В. Алгоритм электронной стабилизации фона по опорным участкам в последовательности видеоизображений // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Тез. докл. 12-й Междунар. науч.-техн. конференции. – Рязань, 2004. – С. 64-65.
2. Балашов О.Е., Степашкин А.И. Управление приводами видеокомпьютерной системы сопровождения объектов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Тез. докл. 12-й Междунар. науч.-техн. конференции. – Рязань, 2004. – С. 66-67.
3. Алтаов Б.А., Хлудов С.Ю. Алгоритм последовательных испытаний в задаче совмещения двумерных изображений // Изв. вузов. Сер. Электромеханика. – 1988. – № 7. – С. 87-91.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Л.П. Фельдман.

**Шапка Сергей Владимирович** – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Рязанский государственный радиотехнический университет»; e-mail: pshapka@yandex.ru; 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, тел.: 84912460350; кафедра ЭВМ; аспирант.

**Shapka Sergey Vladimirovich** – Ryazan State Radio Engineering University; e-mail: pshapka@yandex.ru; 59/1, Gagarina, Ryazan, 390005, Russia; phone: +74912460350; the department of computer science; postgraduate student.

УДК 519.876.5

**Е.Н. Бородулина, В.В. Корохов, И.С. Шабаршина**

#### **СМЕШАННЫЙ АЛГОРИТМ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

*Рассмотрено решение актуальной задачи снижения себестоимости продукции и повышения качества химических батарей путем совершенствования процесса сборки, обеспечивающего формирование максимального количества блоков батарей с учетом ограничений и особенностей производства химических источников тока. Предложен смешанный алгоритм оптимальной комплектации на основе метода селективной сборки с использованием генетического и эволюционного подходов, позволяющий решать два вида практических задач и учитывающий ограничения на массу элементов, батареи и геометрические размеры блоков элементов. Использование данного алгоритма при комплектовании химических источников тока обеспечивает снижение затрат и повышение качества изделий за счет обеспечения однородности физико-химических характеристик элементов, включаемых в один блок.*

*Генетический алгоритм; эволюционный подход; химические источники тока; селективная сборка.*

E.N. Borodulina, V.V. Korokhov, I.S. Shabarshina

### THE MIXED ALGORITHM OF CHEMICAL CURRENT SOURCES SELECTIVE ASSEMBLY

*The solution of the pressing problem of decreasing the product cost and increasing the chemical current source quality by improving assembly procedure, providing the formation of maximum number of battery block, taking into account the constraints and features of chemical current source production was considered. The mixed algorithm of optimal assembly based on the method of selective assembly using genetic and evolution approaches, allowing solving two types of problems taking into account constraints on element and battery mass, block sizes was proposed. Using current algorithm in chemical current source assembly ensures expenses decreasing and product quality increasing as a result of uniformity of the physical and chemical parameters of elements involved in the block.*

*Genetic algorithms; evolution approach; chemical current sources; selective assembly.*

Качество химических источников тока – многокомпонентных изделий, используемых в оборонной промышленности и космической отрасли, определяется их физико-химическими характеристиками, массой и геометрическими размерами. Обеспечение требуемых значений указанных параметров в условиях мелкосерийного и штучного производства осуществляется путем контроля и отбраковки на всех этапах жизненного цикла изделия, выполнения технологической инструкции на этапах подготовки компонентов, комплектации и сборки батарей. Актуальной задачей является снижение себестоимости продукции и повышение качества изделий путем совершенствования процесса сборки на основе алгоритма оптимальной комплектации, обеспечивающего формирование максимального количества блоков батарей с учетом ограничений и особенностей производства химических источников тока.

В результате анализа методов сборки с учетом затрат, сложности, трудоемкости процесса, невозможности усложнения конструкции, взаимозаменяемости сборочных единиц, их количества и опыта использования выбран метод групповой взаимозаменяемости или селективной сборки [1].

Реализация этого метода представляет собой технологический цикл, включающий измерение параметров, использующихся при сопряжении деталей и их анализ, разбиение партии деталей на группы в соответствии с установленной их градацией, иногда выбор частного способа сборки для разных групп деталей, комплектование деталей, оценку качества произведенного изделия, контроль и управление селективной сборкой. Каждый шаг может обеспечиваться различными способами и алгоритмами. На основе данного метода возможно решение задачи оптимального комплектования с наименьшими затратами при высоком качестве изделия, удовлетворяющем требованиям клиента, стандартам и внутренним нормам предприятия.

Введем обозначения. Элементы – первичные источники тока, из которых формируются блоки. Целью процесса комплектования является получение максимального числа блоков (по два ряда элементов) при выполнении ограничений на массу и геометрические размеры

$$M/(n \cdot m) \rightarrow \max,$$

где  $M$  – количество элементов во всей партии,  $m$  – число элементов в ряду;  $n$  – число рядов.

На практике выделяют две задачи:

1) нахождение такой комбинации сопрягаемых элементов, при которой масса необходимого количества блоков минимальна, при этом сумма допусков диаметров элементов, входящих в ряд, не должна превышать заданного значения;

2) сформированные блоки должны иметь одинаковую массу, допуски на длину блоков не должны превышать заданный суммарный допуск.

Решение этих задач находится на основе смешанного алгоритма с учетом групповой взаимозаменяемости элементов в несколько этапов:

- ◆ определение целевой функции и ограничений в зависимости от выбранной задачи;
- ◆ формирование начального нехудшего решения;
- ◆ реализация смешанного метода;
- ◆ получение оптимального решения – искомой комбинации элементов.

Смешанный алгоритм, разработанный с использованием генетического и эволюционного подходов, включает три этапа.

Этап 1. Определение целевой функции и ограничений. В общем виде блок состоит из  $m$  – элементов в ряду и  $n$  рядов, элементы комплектуются по двум параметрам: диаметру и массе (рис. 1). Тогда:

- ◆ диаметр сопрягаемого элемента  $N(m, n) - d_{mn}$ ;
- ◆ номинальное значение диаметра элемента  $N(m, n) - d_{mn}^{nom}$ ;
- ◆ максимальное значение диаметра элемента  $N(m, n) - d_{mn}^{max}$ ;
- ◆ минимальное значение диаметра элемента  $N(m, n) - d_{mn}^{min}$ ;
- ◆ поле допуска по диаметру элемента  $N(m, n) - \Delta_{mn}^d = d_{mn}^{max} - d_{mn}^{min}$ ;
- ◆ масса сопрягаемого элемента  $N(m, n) - m_{mn}$ ;
- ◆ номинальное значение массы для элемента  $N(m, n) - d_{mn}^{nom}$ ;
- ◆ максимальное значение массы элемента  $N(m, n) - m_{mn}^{max}$ ;
- ◆ минимальное значение массы элемента  $N(m, n) - m_{mn}^{min}$ ;
- ◆ поле допуска по массе элемента  $N(m, n) - \Delta_{mn}^m = m_{mn}^{max} - m_{mn}^{min}$ .

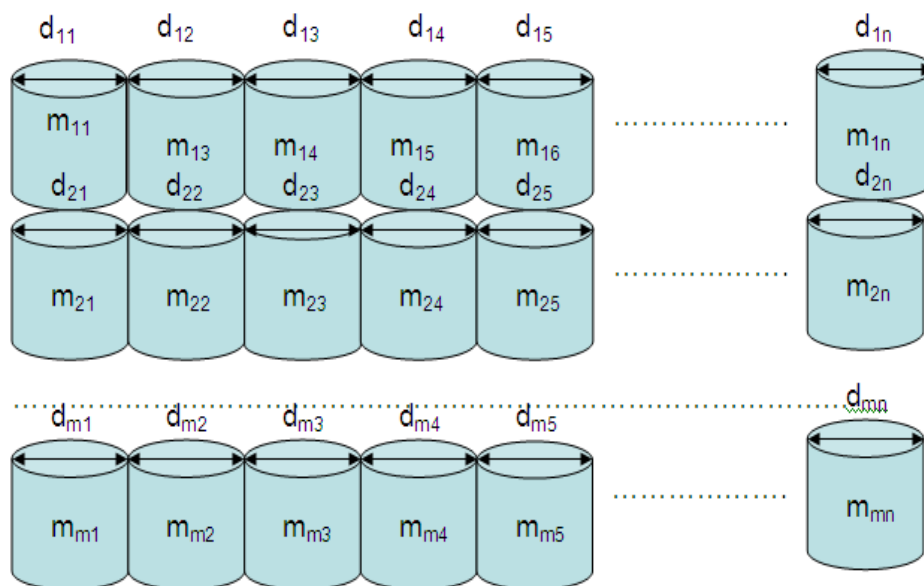


Рис. 1. Блок, состоящий из  $n \times m$  компонентов

Целевая функция, оценивающая качество решения, зависящего от соответствия параметров  $d$  и  $m$  изделия установленным ограничениям:

$$F(d_{mn}, m_{mn}) = M/(n \times m) \rightarrow \max.$$

Поскольку заказчик может предъявлять одно из двух требований, то и связанные с ними ограничения имеют свои особенности. В случае, когда заказчику важно, чтобы масса блока была минимальна, ограничения будут иметь вид:

- ◆ поскольку масса блока находится в пределах  $M_{m \times n}^{\min} \leq M_{m \times n} \leq M_{m \times n}^{\max}$ , где  $m \times n$  – размерность;
- ◆ аналогично длина ряда в блоке  $L_n^{\min} \leq L_n \leq L_n^{\max}$ , это ограничение должно выполняться для каждого из  $n$  рядов.

В случае, когда необходимо получить блоки одинаковой массы, ограничения будут иметь иной вид:

- ◆ масса блоков должна быть одинаковой  $M_n = \text{const}$ ;
- ◆ ограничение по длине ряда  $L_n^{\min} \leq L_n \leq L_n^{\max}$  должно выполняться для каждого из  $n$  рядов.

Этап 2. Формирование начального решения. Значения сопрягаемых параметров  $d_{mn}$  и  $m_{mn}$  являются очевидно случайными величинами, распределенными по определенному закону (часто приближаемому к нормальному) и дальнейшее разбиение деталей на группы в соответствии с полями допуска, часто производится произвольным образом, особенно в случаях, когда алгоритм нахождения решения относится к классу точных.

Поскольку используется смешанный алгоритм, являющийся приближенным методом, поэтому для улучшения качества поиска решения необходимо предварительно ранжировать совокупность элементов и только после этого формировать начальные особи [2].

Можно предположить, что значения диаметра соответствуют качественным оценкам (0 – плохо, 1 – хорошо). В таком случае лучшее значение оценки элемента будет стремиться к максимуму.

Оценку необходимо проводить по безразмерной величине, поскольку кроме диаметра следует еще оценивать другой параметр – массу:

- ◆ определяется  $d_{mn}$  – минимальное значение диаметра элемента во всей партии;
- ◆ рассчитывается  $\min(d_{mn})/d = P(d_{mn})$  – безразмерная оценка диаметра, причем, чем меньше значение  $d$ , тем больше значение  $P(d_{mn})$ , тогда для лучшего значения  $P(d_{mn}) \rightarrow \max$ .

Для второго требования такая оценка тоже пригодна, поскольку, комплектуя элементы только из разных градационных групп, можно получить блоки одинаковой массы. Этапы расчетов те же, что и в первом случае: определяется  $\min(m_{mn})$  – минимальное значение масс элементов во всей партии, рассчитывается  $\min(m_{mn})/m = P(m_{mn})$  – безразмерная оценка массы, причем, чем меньше значение  $m$ , тем больше значение  $P(m_{mn})$ , тогда для лучшего значения  $P(m_{mn}) \rightarrow \max$ .

Далее составляется матрица, элементы ранжируются по методу скаляризации векторных величин в зависимости от комплексной оценки, значение которой чем меньше, тем лучше альтернатива. Партия разбивается на  $m$  групп, по  $n$  элементов в каждой градационной группе.

Затем задается первоначальная комбинация элементов транспонированием каждой части и объединением в блок. Комбинационный принцип заключается в том, что в один ряд должны попадать не только наилучшие элементы, с каждым разом приводя к ухудшению качества, но и с более низким качеством, в совокупности допусков удовлетворяющих ограничениям. Такая операция позволяет найти первый элемент в каждом ряду и соответственно исключить в дальнейшей операции одноточечного кроссинговера  $n!(n*m)/M$  перестановок.

Этап 3. Реализация смешанного алгоритма для нахождения оптимального решения. Зная целевую функцию и имея первоначальное решение, необходимо найти оптимальную комбинацию элементов в блоке с учетом ограничений.

Предварительным этапом является расчет целевой функции  $F(d_{mn}, m_{mn}) = M_{m*n}/(n*m)$  для начального положения элементов при ограничениях:

- ◆  $M_{m*n} \rightarrow \min$  и  $L_n \leq 1$  (первая группа ограничений);
- ◆  $M_n = \text{const}$  и  $L_n \leq 1$  (вторая группа ограничений).

Далее происходит оценка решения для выявления хромосом, которые подлежат замене в связи со своей непригодностью:

- ◆ из всей совокупности выделяются гены, в которых суммарные оценки  $P(d)$  и  $P(m) - P_g^{(2)}$  – превышают среднее значение, они образуют множество  $G(g, K)$ , где  $g$  – количество генов и  $K$  – количество хромосом в гене;
- ◆ определяются гены, для которых суммарные оценки  $P(d_{mn})$  и  $P(m_{mn}) - P_z^{(1)}$  – ниже среднего значения, они образуют совокупность  $Z(z, K)$ , где  $z$  – количество генов, удовлетворяющих данному условию и  $K$  – количество хромосом в гене.

Затем формируется двудольный граф. Ранжирование генов в обеих совокупностях происходит по значениям  $P_z^{(1)}$  и  $P_g^{(2)}$ , как показано на рис. 1, где  $P_z^{(1)}$  и  $P_g^{(2)}$  – максимальные значения, соответствующие минимальному рангу. Для генов с минимальными значениями  $P_z^{(1)}$  и  $P_g^{(2)}$  поиск и замену хромосом производить легче, а в случаях, когда высокая точность не столь важна, оперированием над ними можно пренебречь.

Оценка решения происходит по следующему принципу: если величина  $P_g^{(2)}$  уменьшилась, а  $P_z^{(1)}$  увеличилась относительно предыдущего решения, то предложенное решение приблизилось к оптимальному и его можно считать базовым на данном этапе;

- ◆ скрещивание хромосом в одной итерации проводится у генов, для которых выполняется условие  $P_g^{(2)} \leq |P_z^{(1)}|$  в соответствии с рангом до тех пор, пока  $P_g^{(2)} \leq 0$ ,  $P_z^{(1)} \leq 0$  [3];
- ◆ селекция генов происходит в соответствии с правилом частичной замены популяции, т.е. происходит проверка вторых ограничений задачи и значений целевой функции  $F(d_{mn}, m_{mn})$  [2]:

1) находится значение  $F(d_{mn}, m_{mn})$ , при котором удовлетворяются ограничения;

2) определяется, в каком случае полученное решение лучше решения, найденного по методу условной оптимизации (в случае, когда необходимо добиться высокой точности, главными критериями выступают указные два ограничения, в остальных –  $F(d_{mn}, m_{mn}) \rightarrow \max$ ). Лучшее решение становится базовым – эталонным, с ним сравниваются решения с частичной заменой;

- ◆ в первую очередь в базовом решении заменяются хромосомы с минимальным рангом;
- ◆ определяется лучшее решение в соответствии с вышеуказанным методом, если новое решение оказывается лучшим, то оно становится базовым. Затем переходят к генам следующего ранга, и так до тех пор, пока не будут проверены гены всех рангов и сформирована лучшая в данной итерации комбинация хромосом.

Конечный результат будет получен в случае:

- ◆ когда возможных генов для скрещивания не будет найдено;
- ◆ когда комбинация, состоящая из родительских генов, окажется лучше новой комбинации и всех модифицированных совокупностей.

Таким образом, представленное решение задачи оптимального комплектования батарей химических элементов, производимое методом селективной сборки на основе смешанного алгоритма, обеспечивает удовлетворение требованиям высокого качества изделия, в то же время сокращая затраты на производство путем уменьшения незаконченного производства и неиспользованных деталей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугаев А.С., Горский В.Б. Система оптимизации на генетических алгоритмах // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2007. – № 3. – С. 49-58.
2. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач: Учебное пособие / Под ред. Я.Е. Львовича. – Воронеж, 1995. – 348 с.
3. Тенев, В.А. Применение генетических алгоритмов с вещественным кроссовером для минимизации функций большой размерности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2006. – № 1 (7). – С. 93-107.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.Е. Панич.

**Бородулина Екатерина Николаевна** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kaf\_sau@mail.ru; 344090 г. Ростов-на-Дону, Мильчакова, 10, каб. 505; тел.: 88632696991; кафедра «Системный анализ и управление»; аспирантка; преподаватель.

**Корохов Владимир Васильевич** – кафедра «Системный анализ и управление»; к.т.н.; доцент.

**Шабаршина Ирина Сергеевна** – кафедра «Системный анализ и управление»; к.м.н.; доцент.

**Borodulina Ekaterina Nikolaevna** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kaf\_sau@mail.ru; 10, Milchakova street, of. 505, Rostov-on-Don, 344090 Russia; phone: +78632696991; the department «Systems analysis and control»; postgraduate student and instructor.

**Korokhov Vladimir Vasilievich** – the department «Systems analysis and control»; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Shabarshina Irina Sergeevna** – the department «Systems analysis and control»; cand. of math. sc.; associate professor.

УДК 681.3.01

**С.И. Клевцов**

#### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОГО АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА**

*Разработана модель прогнозирования изменений физической величины в реальном времени, базирующаяся на использовании линейного адаптивного фильтра. В основе фильтра лежит модель авторегрессии. Предложена схема выполнения прогнозирования, которая заключается в реализации процедуры, состоящей из трех этапов. На первом этапе осуществляется выбор начальной точки на поверхности минимизации квадрата погрешности прогноза. Второй этап посвящен определению направления движения по поверхности с целью минимума ошибки. На заключительном этапе выполняется определение на каждом шаге движения новых откорректированных весов вектора, который минимизирует погрешность прогноза. Проведены исследования возможности использования адаптивного временного ряда для прогнозирования изменения быстропеременной физической*