

И. Б. БОНДАРЕНКО

## МЕТОД МНОГОУРОВНЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧЕ РАЗДЕЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Представлен метод получения оптимального решения в многоуровневой системе, разработанный на примере решения задачи отдельного резервирования элементов. Исследован метод генетического поиска решений в многоколониальной модификации. Описаны дальнейшие направления исследований генетического метода для задач многоуровневой оптимизации.

**Ключевые слова:** генетический алгоритм, оптимизация, многоуровневая система, резервирование, многоколониальный алгоритм, колония, поколение.

Задачи многоуровневой оптимизации возникают при выработке оптимальных решений в иерархических сложных системах, которые представляют собой множество взаимоподчиненных уровней. Сложность процесса принятия решений заключается в том, что оптимальное решение, достигнутое на нижних уровнях системы, — локальное и не означает получения оптимального — глобального — решения для системы в целом. При этом процесс выработки решения носит лавинообразный характер, а результаты, полученные на промежуточных уровнях, взаимосвязаны. Поэтому исследования в данной области направлены на выделение координирующих переменных, определяющих взаимосвязь нижних и верхних уровней [1], а также декомпозицию системы  $Q_{\text{опт}}$  на подсистемы  $Q_i$  меньшей размерности с последующим решением локальных задач оптимизации [2]:

$$Q_{\text{опт}} = \text{extr}(Q_i(X)), \quad Q_i(X) = Q(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $n$  — количество подсистем,  $k$  — количество параметров каждой подсистемы.

Данные методы включают процедуры выработки постоянных уточняющих межуровневых коэффициентов взаимосвязи отдельных подуровней и матриц этих коэффициентов. Решение задачи многоуровневой оптимизации с использованием такого подхода, особенно для систем большой размерности и при наличии ограничений, — сложная вычислительная процедура.

Резервирование относится к методам повышения надежности приборов и систем и используется на стадии их проектирования. При отдельном резервировании создается избыточность: к каждому элементу системы с помощью коммутаторов может быть подключено до  $(m_i - 1)$  таких же резервных элементов (рис. 1), где  $i = 1, 2, \dots, n$  — номер „столбца“ (блока элементов). Каждый элемент характеризуется вероятностью безотказной работы  $p_i$ . Тогда вероятность безотказной работы основной цепи равна

$$P_{\text{осн}} = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n,$$

а „столбца“ —

$$p_{\text{ст}} = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - p_j). \quad (1)$$

Отсюда для всей резервируемой системы

$$p_c = \prod_{i=1}^n (1 - (1 - p_i)^{m_i}).$$

В качестве ограничения для решаемой задачи используем выражение, определяющее общую массу системы:

$$G_c = \sum_{i=1}^n g_i m_i \leq G_{\max}, \quad (2)$$

где  $g_i$  — масса  $i$ -го элемента.

Таким образом, задача оптимизации определяется выражением

$$Q_{\text{опт}} = \max_{\sum_{i=1}^n g_i m_i \leq G_{\max}} \left[ \prod_{i=1}^n (1 - (1 - p_i)^{m_i}) \right]. \quad (3)$$

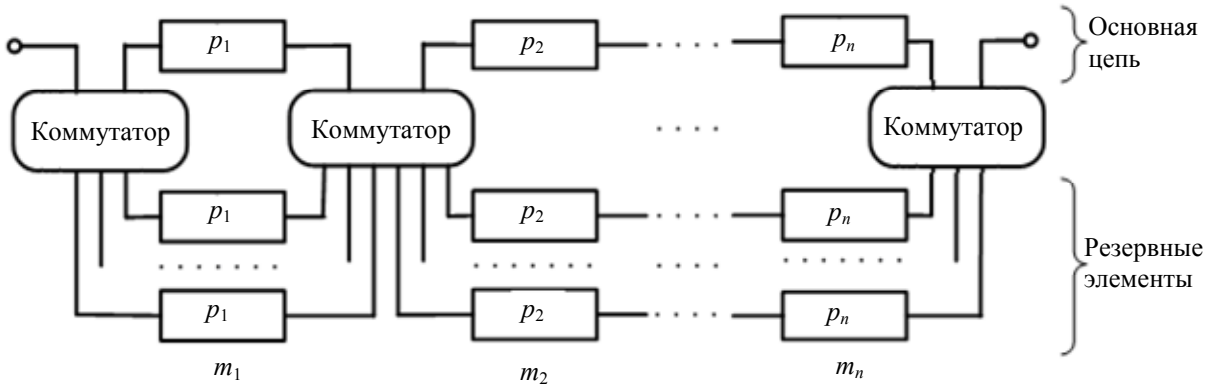


Рис. 1

При заданном уровне надежности элементов, известной их массе и ограничении на массу всей системы рассматриваемая задача может быть представлена в виде иерархической системы, где локальной задачей оптимизации является максимизация надежности (1), а глобальной — максимизация по соотношению (3) при выполнении ограничения (2).

Графическая интерпретация задачи (1) для двух элементов представлена на рис. 2. Ограничение (2) „отсекает“ область, в которой находятся оптимальные решения (в данном случае два). На рисунке представлен вариант, когда массы элементов одинаковы, поэтому ограничивающая плоскость проходит под углом  $45^\circ$  к осям  $m_1$  и  $m_2$ . Когда массы элементов не равны, эти углы разные. Для численных методов оптимального поиска задача усложняется тем, что вероятность безотказной работы, описываемая поверхностью  $Q(m_1, m_2)$ , сначала резко повышается, а затем ее рост замедляется.

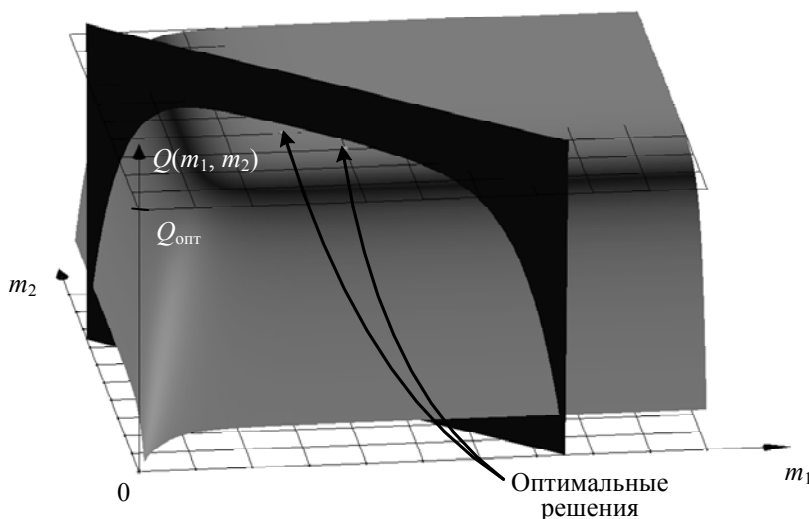


Рис. 2

Для решения задачи (3) можно использовать аналитические методы: например, метод неопределенных множителей Лагранжа или вариационный метод, однако при этом трудоем-

кость задачи существенно возрастает, а решение, особенно при небольших значениях  $m_i$ , не всегда является оптимальным.

В настоящей статье для решения поставленной задачи предлагается использовать многоуровневый многоколонийный генетический алгоритм (рис. 3).

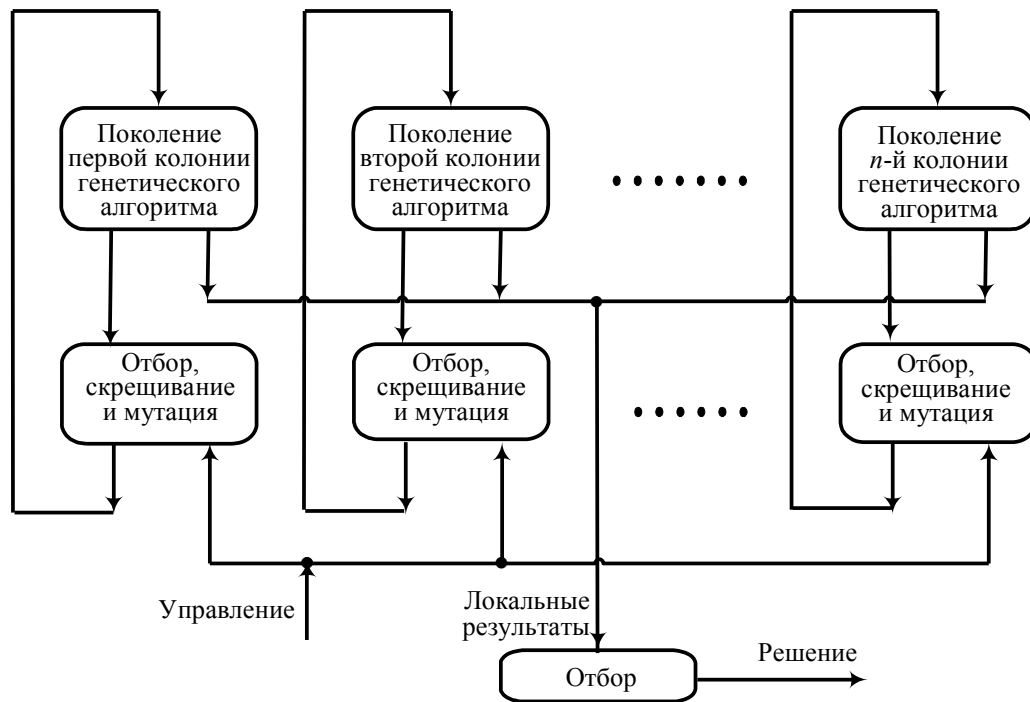


Рис. 3

Реализация генетических алгоритмов предусматривает совмещение случайного поиска с отбором наилучших решений, что было исследовано в работах [3, 4]. Для решения каждой локальной задачи оптимизации используется отдельная колония хромосом, функционирующая на нижнем уровне (см. рис. 3), в результате чего формируется максимум локальной целевой функции (1) с локальным ограничением:

$$Q_{i\text{опт}} = \max_{g_i m_i < G_{\text{max}} / g_i} (1 - (1 - p_i)^{m_i}). \quad (4)$$

Управление поиском при работе многоуровневого многоколонийного генетического алгоритма осуществляется путем сужения интервала поиска и повышения точности от поколения к поколению. Из каждой популяции нижнего уровня, содержащей 20 хромосом, отбирается несколько вариантов решений, образующих колонию верхнего уровня. Из этих вариантов на основе выражения (3) осуществляется выбор наилучшего решения с учетом ограничения (2). В результате процесса эволюции хромосом через несколько поколений формируется оптимальное решение. Как показано в работе [5], выгоднее использовать большее количество хромосом в колонии, чем наращивать число поколений, что и было использовано при проведении экспериментов.

Исходные данные и результаты вычислительного эксперимента для трех основных элементов, при  $G_c=485$  кг, приведены в таблице — оптимальное решение, найденное на третьей итерации поиска (для III поколения), выделено жирным шрифтом; ход поиска представлен на рис. 4.

Номер блока элементов	$p_i, \%$	$g_i, \text{ кг}$	$G_{\text{max}}, \text{ кг}$	$m_i$ — варианты локальных решений для поколения								
				I		II		III				
				1	2	1	2	1	<b>2</b>	3	4	5
1	90	10	500	15	16	11	12	9	<b>10</b>	8	8	8
2	80	15		10	10	10	11	15	<b>15</b>	13	14	13
3	95	20		8	8	9	10	8	<b>8</b>	6	7	7

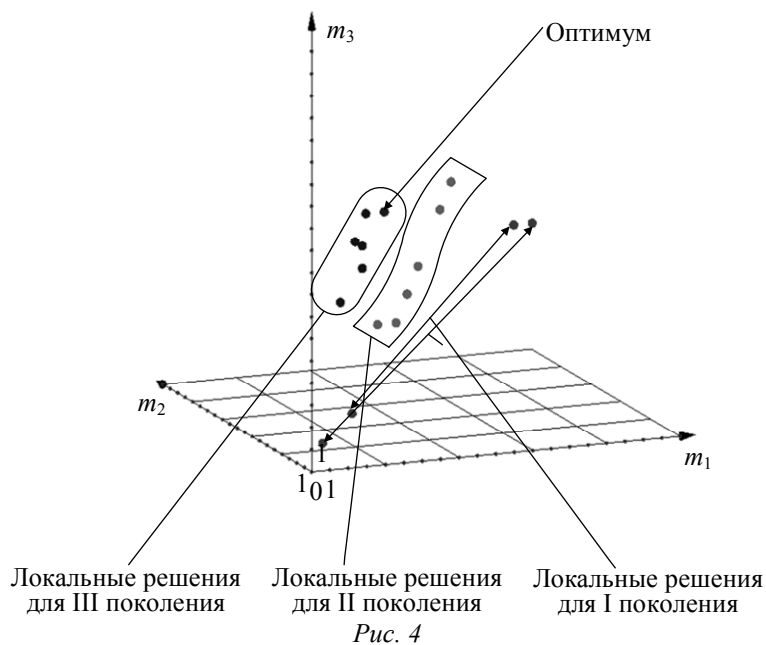


Рис. 4

В заключение следует отметить, что представленный в статье подход управления многоуровневой системой не является окончательным. Возможна организация управления хромосомами низших порядков за счет составления ступенчатой целевой функции, оптимизации операторов отбора, скрещивания, мутации и т.д., что требует дополнительных исследований. Разработанная методика может быть использована при принятии решений в многоуровневых задачах для управления сложными техническими системами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В. В. Автоматизация управления предприятием. М.: ИНФА-М, 2000. 239 с.
2. Лисяной Г. В. Модели оценки эффективности функционирования интегрированной автоматизированной системы управления // Вісник Кременчуцького політехнічного університету. 2009. Вып. № 2 (55). С. 7—9.
3. Коробейников А. Г., Михайличенко О. В., Прохожев Н. Н., Бондаренко И. Б. Метод поиска множества оптимальных решений тестовой функции Бранинса // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе: Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. Йошкар-Ола: Марийск. гос. техн. ун-т, 2012. Ч. 1. С. 73—77.
4. Бондаренко И. Б., Гатчин Ю. А., Гераничев В. Н. Синтез оптимальных искусственных нейронных сетей с помощью модифицированного генетического алгоритма // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 2 (78). С. 51—55.
5. Бондаренко И. Б., Каляева Е. А., Кошкиarov Д. Н. Адаптация параметров генетического алгоритма для оптимизации сложных функций // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. Т. 54, № 9. С. 5—9.

#### Сведения об авторе

**Игорь Борисович Бондаренко** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем; E-mail: igorlitmo@rambler.ru

Рекомендована кафедрой  
проектирования и безопасности  
компьютерных систем

Поступила в редакцию  
10.01.14 г.