

УДК 681.324

ГЕНЕРАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Р.А. Шек-Иовсепянц, И.О. Жаринов

Рассматривается подход к автоматизированному синтезу математических моделей бортового оборудования на основе аппарата генетических алгоритмов. Представлены алгоритм и примеры практической реализации операторов селекции и мутации на моделях интегрированной модульной авионики.

Ключевые слова: интегрированная модульная авионика, генетические алгоритмы.

Введение

Основу проектирования комплексов бортового оборудования сегодня составляет концепция интегрированной модульной авионики (ИМА). Перспективным в рамках концепции ИМА оказывается использование так называемых генетических алгоритмов, которые обладают рядом полезных свойств, а именно: адаптация к целевой функции проектирования; работа в условиях множеств и задач как малой, так и значительной размерности; допустимость изменения детализации описания без значительной модификации в самом алгоритме «перебора» и др.

В основу генетического алгоритма положены идеи естественного отбора в биологических популяциях. В генетическом алгоритме решение задачи синтеза представляется «хромосомой», состоящей из «генов». Значениями «генов» являются значения проектных параметров. Задача проектирования БРЭО с использованием аппарата генетических алгоритмов заключается в разработке строковой математической модели объекта проектирования и формализации механизмов автоматизированной генерации проектных решений на ее основе.

Предлагаемый подход к решению

Так как генетический алгоритм [1] в процессе поиска использует некоторую кодировку множества параметров вместо самих параметров, то он может эффективно применяться для решения задач дискретной оптимизации, определенных на числовых множествах. Аппарат генетических алгоритмов действует на числовом множестве Ψ технико-экономических показателей $\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_c(\Psi)$ авионики (вектор релевантных параметров $\Xi(\Psi)$) с представленными в конечном алфавите ψ строками Ψ_S конечной длины, которые используются для кодировки исходного множества проектных альтернатив S^j бортового оборудования. Строки представляют собой [2] упорядоченные наборы из ψ элементов параметров проекта $\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_\psi\}$, каждый из которых задается в своем собственном алфавите $\Psi_1 = \{\psi_{1,1}, \psi_{1,2}, \dots, \psi_{1,\psi_1}\}$, $\Psi_2 = \{\psi_{2,1}, \psi_{2,2}, \dots, \psi_{2,\psi_2}\}$, \dots , $\Psi_\psi = \{\psi_{\psi,1}, \psi_{\psi,2}, \dots, \psi_{\psi,\psi_\psi}\}$, где алфавит ψ является множеством из $\Psi_S = \{\psi_{ij}\}$, $i=1, 2, \dots, \psi$; $j=1, 2, \dots, \psi_i$ символов. В частности, при использовании бинарного алфавита [3] символов $\{0,1\}$ проектные решения (табл. 1) имеют вид

$$\Psi_1^{\text{БРЭО}} = \{10000010010000101000101\},$$

$$\Psi_2^{\text{БРЭО}} = \{01000001001000010100011\},$$

$$\Psi_3^{\text{БРЭО}} = \{00100000100100000010101\},$$

$$\Psi_4^{\text{БРЭО}} = \{00010010000010000001011\},$$

$$\Psi_5^{\text{БРЭО}} = \{00001001000001000000101\}.$$

| Используемое оборудование | | Кодовая комбинация проектного решения | | | | | |
|---|---------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|---|
| Наименование системы | Марка | | | | | | |
| Средство отображения информации | МФИ 10-5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | МФИ 10-6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | МФЦИ-0333М | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | ЖК-АМ МФИ-2000-1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | TDS-10LH / TDS-10LL | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | TDS-10PH / TDS-10PL | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Пульт управления и индикации | ПС-2 сер.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ПС-5 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | ПУИ-80С | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Система управления полетом | БИАВС | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ВСС-95-1В | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | КАБРИС-31 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| | АБРИС | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | FMS-6000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | ЛИНС-2000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | ИСС-1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Навигационный приемник | СН-3022 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | СН-99 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | СН-3704 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| | СН-3301 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Система предупреждения опасной близости земли | GPWS | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| | TAWS (ТТА-124) | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Система предотвращения столкновений в воздухе | СПС-2000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Таблица 1. Варианты распределения аппаратуры в комплексе бортового оборудования

Таким образом, задача проектирования заключается в поиске алгоритма, позволяющего однозначно отобразить конечное множество проектных альтернатив S^j на множество строк Ψ_S . Целевая функция проектирования F считается заданной (в соответствии с требованиями тактико-технического задания) на множестве $\Psi_S = \{\psi_{ij}\}$ неотрицательно определенной функцией многих переменных $F = F(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi))$, определяющей показатель качества проектного решения для каждой альтернативы S^j . Направленный перебор решений (формализованный механизм генерации) осуществляется по информационной базе данных проектов предприятия на ЭВМ рабочего места проектировщика с помощью математических операторов генетических алгоритмов.

Генетические операторы в проектных решениях авионики

Базовыми операциями аппарата генетических алгоритмов являются операции скрещивания и мутации. Скрещивание [2] представляет собой процесс случайного обмена значениями соответствующих элементов ψ_i для произвольно сформированных пар строк Ψ_S параметров проекта. Для этого выбранные строки (например, $\Psi^{\text{ПУИ}}$ для вектора параметров изделия класса ПУИ – пульт управления и индикации и $\Psi^{\text{ЦВМ}}$ для вектора параметров изделия класса ЦВМ – цифровые вычислительные машины) слу-

чайным образом группируются в пары. Далее каждая пара с заданной вероятностью подвергается операции скрещивания:

$$\Psi^{\text{ПУИ}} = \{\psi_1^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_i^{\text{ПУИ}}, \psi_{i+1}^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ПУИ}}\} \otimes \Psi^{\text{ЦВМ}} = \{\psi_1^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_i^{\text{ЦВМ}}, \psi_{i+1}^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ЦВМ}}\} \Rightarrow$$

$$\Psi^{\text{ПУИ}} = \{\psi_1^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_i^{\text{ПУИ}}, \psi_{i+1}^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ЦВМ}}\} \cup \Psi^{\text{ЦВМ}} = \{\psi_1^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_i^{\text{ЦВМ}}, \psi_{i+1}^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ПУИ}}\}.$$

Мутация [2] представляет собой процесс случайного изменения значений элементов одной строки Ψ_s . Для этого строки, генерируемые при помощи операции скрещивания, просматриваются поэлементно. Каждый элемент с заданной вероятностью мутации изменяет значение на любой случайно выбранный символ, допустимый алфавитом для данной позиции:

$$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{i-1}, \psi_i, \psi_{i+1}, \dots, \psi_\psi\} \Rightarrow \Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{i-1}, \overline{\psi_i}, \psi_{i+1}, \dots, \psi_\psi\}.$$

Операция мутации позволяет находить новые комбинации признаков параметров проекта, увеличивающих ценность строк Ψ_s . Генетический алгоритм реализует поиск строки, для которой $F^*(\Psi) = \arg \min_{\Psi \in \Psi = \{\psi_{ij}\}} \{F(\Psi)\}$. Поскольку на множестве альтернатив

S^j задана целевая функция $F = F(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi))$, где $\Xi = A\Psi$, то функция $F(\Psi)$ на множестве строк Ψ_s определяется через биективное отображение $F(\Xi) \Leftrightarrow F(\Psi)$, если вектор Ξ при отображении исходного множества S^j на множество строк был сопоставлен строке Ψ_s .

Заключение

Результаты практической реализации применения генетического алгоритма при проектировании бортовой аппаратуры в ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова» приведены в табл. 2. Представлены составы изделий класса БЦВМ (бортовых цифровых вычислительных машин), БЦУ (блоков цифрового управления), БФВИ (блоков формирования видеоизображения), наименования входящих модулей и формализованный механизм перехода от одного проектного решения (класса изделия) к другому в процессе проектирования.

Агрегатную базу модулей авионики представляют: МД – модуль дискретный, МВ – модуль-вычислитель, МО – модуль обмена, МР – модуль разовых команд, МН – модуль напряжений, МА – модуль аналоговый, МГ – модуль графический, МК – модуль коммутационный, МП – модуль памяти. Механизм перехода обозначен мнемознаком $\begin{matrix} \downarrow \\ \uparrow \end{matrix}$, символом \boxtimes обозначен отсутствующий по конструкторской документации модуль (свободный слот).

В частности, при использовании единого конструктива БЦВМ правило автоматизированного перехода от одного проектного решения БЦВМ90-602 к другому проектному решению БЦВМ90-613 осуществляется путем замены в 7-ой и 8-ой позиции строковой модели БЦВМ соответственно модулей МО51, МП60 на МА53, МА54. Физически такая замена для БЦВМ90-613 уменьшает число обслуживаемых каналов обмена с параметрами по ГОСТ 26765.52-87 и вводит возможность обработки аналоговых сигналов с параметрами по ГОСТ 18977-79, РТМ 1495-75.

Аналогично,

$$\Psi^{\text{БЦВМ90-602}} = \{\Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МВ60}}, \Psi^{\text{МО51}}, \Psi^{\text{МН50М}}, \Psi^{\text{МО51}}, \Psi^{\text{МП60}}\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Psi^{\text{БЦВМ90-613}} = \{\Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МВ60}}, \Psi^{\text{МО51}}, \Psi^{\text{МН50М}}, \Psi^{\text{МА53}}, \Psi^{\text{МА54}}\}.$$

| Класс изделия | Проектный состав изделия (помодульно) | | | | | | | |
|---------------|---------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| БЦВМ90-604 | МД50 | МД50 | | МВ63 | МО51 | МН50М | МО51 | МА56 |
| | | | | ↓ ↑ | | | | ↓ ↑ |
| БЦВМ90-602 | МД50 | МД50 | МД50 | МВ60 | МО51 | МН50М | МО51 | МП60 |
| | | | | | | | ↓ ↑ | ↓ ↑ |
| БЦВМ90-613 | МД50 | МД50 | МД50 | МВ60 | МО51 | МН50М | МА53 | МА54 |
| | | | | | ↓ ↑ | | | |
| БЦУ25 | МД50 | МД50 | | МВ60 | МРП24 | МН50М | МА53 | МА54 |
| | | | | | | | ↓ ↑ | ↓ ↑ |
| БЦУ24 | МД50 | МД50 | | МВ60 | МРП24 | МН50М | МА50 | МА50 |
| | | | | | ↓ ↑ | | ↓ ↑ | ↓ ↑ |
| БФВИ24 | МД50 | МД50 | | МВ60 | МО51 | МН50М | МА50 | МГ51 |
| | | | | | | | | |
| БЦВМ90-601 | МД50 | МД50 | | МВ60 | МО51 | МН50М | | |
| | | | | | | | | |
| БЦВМ90-610 | МД50 | МД50 | | МВ60 | | МН50М | | |
| | | | | | | | | |
| БЦВМ90-603 | МД50 | | | МВ60 | МО51 | МН50М | МК603 | |
| | | | | | | | | |

Таблица 2. Результаты практического использования генетического алгоритма при проектировании бортовой аппаратуры

Литература

1. Гладков Л.А. и др. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.
2. Генетические алгоритмы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://g-u-t.chat.ru/ga>, свободный, язык русский, дата обращения 10.01.2010.
3. Ефанов В.Н., Кожевникова Е.А. Комплексирование бортового оборудования на базе мобильного генетического алгоритма // Мир авионики. – 2003. – № 3. – С. 23–29.

Шек-Иовсеянц Рубен Ашотович – СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», главный конструктор, доктор технических наук, профессор, postmaster@elavt.spb.ru

Жаринов Игорь Олегович – СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», главный специалист, кандидат технических наук, доцент, igor_rabota@pisem.net