

УДК 528.8.04

**А. Д. Федоровский<sup>1</sup>, М. В. Артюшенко<sup>2</sup>, З. В. Козлов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

<sup>2</sup>Інститут космічних досліджень НАН України, Київ

**Параметрический синтез космических систем  
зондирования Земли на основе генетического  
метода: постановка задачи и пути решения**

*Поступила в редакцию 03.07.03*

---

На основі генетичного підходу розглядаються методичні аспекти визначення вимог до параметрів космічних систем дистанційного зондування Землі. При цьому вимоги до параметрів системи визначаються з умови їхньої відповідності характеристикам, які забезпечують вирішення тематичних задач науково-прикладних програм ДЗЗ з найбільшою вірогідністю.

---

При создании и эксплуатации современных космических систем дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ) очевидным являются возросшие требования к их структуре, параметрам, а также к планированию режимов функционирования КС. Если первые две проблемы решаются на этапе проектирования КС, то последняя, связанная с составлением оптимальных планов-графиков ДЗЗ, должна решаться многократно и оперативно, в том числе в процессе эксплуатации КС ДЗЗ. Уже сейчас существует необходимость производить учет большого количества факторов, влияющих на эффективность КС, среди которых наряду с числовыми параметрами есть структурные параметры, имеющие качественный характер. Очевидно, что для проектирования и эксплуатации современных КС ДЗЗ требуется поиск принципиально новых информационных подходов.

Известно, что при автоматизации проектирования сложных технических систем, к классу которых следует отнести и состоящие из различных по принципу действия подсистем КС ДЗЗ, применяется итерационный подход [1]. Последний включает структурный синтез, формирование математиче-

ской модели КС, параметрический синтез, моделирование и оценку проектных решений требованиям технического задания. Неавтоматизированный синтез чреват увеличением сроков разработки, снижением качества, а в перспективе при разворачивании сети спутников с аппаратурой ДЗЗ неавтоматизированный синтез вообще становится проблематичным.

Наиболее перспективными для автоматизации решения задач структурного, параметрического синтеза и оперативного составления планов-графиков ДЗЗ являются генетические методы, которые строятся на базе классического генетического алгоритма. Среди различных методов решения комбинаторных и оптимизационных задач генетические методы относятся к классу эвристических методов поиска квазиоптимальных решений.

Цель данного исследования состоит в построении генетического алгоритма (ГА) для решения задачи параметрического синтеза КС ДЗЗ.

Генетический алгоритм — адаптивный поисковый алгоритм, основанный на эволюционных эмпирических факторах получения решения, что для рассматриваемого случая параметрического синтеза

сводится к нахождению оптимальных значений параметров КС ДЗЗ для решения всего множества планируемых тематических задач\* программы работ. Эволюционные факторы в ГА реализуются соответствующими вычислительными процедурами (операторами), которые обеспечивают адаптацию алгоритма к особенностям поискового пространства решений, что значительно сокращает количество вычислений за счет отсева неперспективных областей поиска.

Параметрический синтез КС ДЗЗ предусматривает формирование модели аддитивной ценности выполнения программы наблюдений Земли из космоса различным составом значений параметров КС, которые удобно представить в виде морфологического блока

$$\{b\} = \begin{pmatrix} b_{1 \min(1)} & b_{12} & \dots & b_{1r} & \dots & b_{1 \max(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{j \min(j)} & b_{j2} & \dots & b_{jr} & \dots & b_{j \max(j)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m \min(m)} & b_{m2} & \dots & b_{mr} & \dots & b_{m \max(m)} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В морфологическом блоке (1) приняты следующие обозначения:  $b_{j \min(j)}$  и  $b_{j \max(j)}$  — минимальное и максимальное значения  $j$ -го параметра КС, равные соответствующим минимальному и максимальному значениям  $j$ -й характеристики тематических задач;  $b_{jr}$  — значение  $r$ -го варианта  $j$ -го параметра КС;  $r = \min(j), 2, 3, \dots, \max(j)$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $m$  — количество параметров КС, равное числу различных характеристик, необходимых для обеспечения выполнения всех задач программы ДЗЗ. Построение модели ценности предусматривает проведение морфологического анализа и квалиметрические (качественные) оценки. Так как целью настоящего исследования является демонстрация использования разработанного генетического метода, то описание построения модели аддитивной ценности КС ДЗЗ приводится в сокращенном варианте. Примеры построения функции технической эффективности (функции принадлежности) рассмотрены в работе [2].

В морфологическом блоке (1), составленном на основе анализа характеристик всех тематических задач программы, количество строк равно числу параметров КС, необходимых для решения всех задач, а элементами строк являются значения параметров, изменяющиеся в каждой строке от минимального до максимального значения. Решение тематических задач осуществляется на основе де-

шифрования информативных признаков, полученных от регистрации аппаратурой КС процессов и объектов Земли с использованием специальных для каждой задачи методик решения. Методики решения тематических задач предъявляют определенные требования к информации, подлежащей дешифрованию. Ниже через  $a$  с индексами обозначаются численные значения требований к характеристикам космической информации, которые следуют из методик решения тематических задач. Эти характеристики обеспечиваются определенным составом и значениями параметров ( $b$  с индексами) подсистем КС ДЗЗ: визирования земной поверхности, регистрации информации ДЗЗ, передачи и приема информации, обработки информации и др. Для решения конкретной задачи идеальными параметрами КС ДЗЗ являются значения, полностью совпадающие с требованиями, обеспечивающими решение данной задачи. Однако в случае выполнения научно-прикладной программы, состоящей из различных тематических задач, эти значения параметров, вероятнее всего, не обеспечат необходимый уровень решения всех задач. В этом случае параметры КС ДЗЗ определяются путем нахождения компромиссного варианта значений параметров, которые обеспечат выполнение всех тематических задач программы ДЗЗ с наибольшей эффективностью. Количественно оценить эффективность, в нашем случае техническую эффективность, так как экономические показатели в модель ценности не включены, можно с помощью функции технической эффективности

$$\max F(B_r, M) = \sum_{p=1}^h \rho(M_p, M) \sum_{l=1}^{k(p)} \rho(A_{lp}, M_p) \sum_{j=1}^{m(lp)} \rho(a_{jlp}, A_{lp}) \cdot G(b_{jr}, a_{jlp}), \quad (2)$$

где  $A(M_p) = A\{A_{lp}\}$  — множество тематических задач  $M_p$ -й подпрограммы, где  $A_{lp}$  —  $l$ -я задача  $p$ -й подпрограммы;  $l = 1, 2, \dots, k_p$ ;  $k_p$  — общее количество задач  $p$ -й подпрограммы;  $p = 1, 2, \dots, h$ ;  $h$  — количество подпрограмм программы ( $M$ );  $a(A_{lp}) = a_{jlp}$  — множество характеристик, обеспечивающих решение  $l$ -й задачи  $p$ -й подпрограммы, где  $a_{jlp}$  —  $j$ -я характеристика  $l$ -й задачи  $p$ -й подпрограммы;  $j = 1, 2, \dots, m_{lp}$ ;  $m_{lp}$  — количество характеристик  $l$ -й задачи  $p$ -й подпрограммы;  $B_r$  —  $r$ -й вариант состава значений параметров КС;  $r = 1, 2, \dots, N$ ;  $G(b_{jr}, a_{jlp})$  — функция соответствия  $j$ -го параметра  $r$ -го варианта состава значений параметров КС ( $b_{jr}$ )  $j$ -й характеристике ( $a_{jlp}$ ), обеспе-

\* Под тематическими задачами ДЗЗ понимаются научные и прикладные задачи отраслей хозяйственной деятельности, при решении которых, наряду с наземными наблюдениями, используется информация ДЗЗ.

чивающей решение  $l$ -й задачи  $p$ -й подпрограммы:

$$G(b_{jr}, a_{jlp}) = [1 - S(b_{jr}, a_{jlp})], \quad (3)$$

где  $S(b_{jr}, a_{jlp})$  — функция близости для  $j$ -го параметра  $r$ -й КС ( $b_{jr}$ ) к  $j$ -й характеристике ( $a_{jlp}$ ), обеспечивающей решение  $l$ -й задачи  $p$ -й подпрограммы, вычисляется как нормализованная функция «расстояния» между  $b_{jr}$  и  $a_{jlp}$ . Функция соответствия  $G$  принимает тем большее значение, чем меньше разница между значением характеристики тематической задачи  $a_{jlp}$  и значением параметра КС ДЗЗ —  $b_{jr}$ . В случае, когда отсутствуют параметры, необходимые для регистрации соответствующих характеристик задач,  $S(b_{jr}, a_{jlp}) = 1$ ;  $\rho(a_{jlp}, A_{lp})$ ;  $\rho(A_{lp}, M_p)$ ;  $\rho(M_p, M)$  — квалиметрические характеристики важности (весовые коэффициенты важности) первого аргумента по отношению ко второму. Так, например,  $\rho(a_{jlp}, A_{lp})$  есть оценка важности  $j$ -й характеристики в решении тематической задачи ( $j$ -й характеристики для решения  $l$ -й задачи  $p$ -й подпрограммы). Две другие характеристики означают:  $A_{lp}$  задачи для выполнения подпрограммы  $M_p$ ; подпрограммы  $M_p$  для выполнения программы  $M$  соответственно. По определению сумма коэффициентов важности каждой из характеристик равна 1.

Наибольшего значения функция (2) достигает при полном совпадении значений параметров КС ДЗЗ с аналогичными требованиями решения тематических задач по методикам. В этом случае значение выражения (2) равно числу этих параметров. Следовательно, отношение значения функции (2) к числу параметров изменяется в диапазоне от единицы до нуля и может быть принято в качестве критерия оценки эффективности КС ДЗЗ (коэффициент относительной эффективности — КОЭ)

$$\text{КОЭ}_{\max} = \frac{F(B_r, M)}{\sum_{p=1}^n \sum_{l=1}^{k(p)} m_{lp}}. \quad (4)$$

Задача параметрического синтеза сводится к нахождению значений параметров  $b_{jr}$ , при которых КОЭ принимает максимальное значение. Необходимое повышение точности представления параметров КС неизбежно связано с увеличением потенциальных вариантов решения задачи оптимизации, число которых в задаче синтеза КС ДЗЗ может достичь чрезвычайно больших значений, и при использовании метода прямого перебора становится непосильной задачей. Убедиться в этом можно при анализе формулы (5), по которой производится подсчет общего числа возможных вариантов состава

ва параметров КС ДЗЗ:

$$N = \prod_{j=1}^m \sum_{r=b_j^{\min(j)}}^{b_j^{\max(j)}} b_{jr}. \quad (5)$$

Для решения задачи параметрического синтеза конструируется генетический метод, в основу которого заложен классический ГА.

При описании ГА принято использовать терминологию, заимствованную из молекулярной биологии и генетики, что подчеркивает аналогию с эволюционными процессами, происходящими в живой природе. Для решения различных прикладных задач уже создано большое число алгоритмов на основе моделирования свойств генетического аппарата приспособления живых организмов к окружающей среде, всем этим алгоритмам присущи общие черты. Во всех ГА можно выделить основные этапы решения задач. Методологическую основу ГА составляет гипотеза селекции, которая заключается в том, что чем выше приспособленность особи, тем выше вероятность того, что некоторая часть потомства этой особи будет содержать еще более высокие характеристики признаков, определяющих приспособленность. По аналогии, механизм селекции переносится на решение прикладных задач в виде гипотезы, выдвинутой Холландом [6], — хорошие схемы решений задачи при скрещивании рожают новые схемы более высокого качества.

Необходимым условием для применения ГА является кодирование всего множества потенциальных решений задачи, содержащихся в морфологическом блоке (1), которое состоит в формировании хромосомы (другое название в ГА — фрейм). Хромосомы состоят из цепочки генов — основной единицы наследственности, представляющей собой фрагмент ДНК, кодирующий один или несколько фенотипических признаков. Каждый ген способен занимать только определенную область в хромосоме. Область, занимаемая геном, называется локусом. В алгоритмах ГА в общем случае каждый из генов может принимать вещественные, целочисленные или бинарные значения и характеризуется аллельной формой (множеством допустимых значений). В популяции всегда существуют особи, у которых в идентичных локусах представлены различные формы генов. Множество таких альтернативных форм генов называется аллелями. Для выбора оптимального значения параметров КС ДЗЗ каждая переменная (параметр) оптимизации кодируется определенным фрагментом хромосомы, состоящим из фиксированного количества генов. Оценка каждого из вариантов решения задачи производится с помощью некоторой функции приспособ-

собленности  $FF(X_1)$  (функции фитнеса). В рассматриваемом случае для этой цели может быть использовано выражение для КОЭ (4).

Для сокращения количества просматриваемых вариантов решений задачи ГА используют соответствующие операторы, в основе которых лежит гипотеза о строительных блоках, выдвинутая Голдбергом [5]. Согласно этой гипотезе ГА должны одновременно выполнять две функции: выращивать строительные блоки решений и смешивать эти блоки в целях получения оптимального решения. В ГА эта гипотеза реализуется соответствующими механизмами и операторами: механизм генерации начальной популяции; механизм оценки качества хромосомы с использованием функции приспособленности; механизм селекции; операторы скрещивания; операторы мутации; механизм останова ГА (остановка моделирования эволюционного процесса).

Принято считать, что классический генетический алгоритм оперируют с хромосомами постоянной длины, состоящими из генов со значениями 0 или 1. Закодированная хромосома, в которой представлено множество потенциальных решений, называется генотипом. Генотип задает поисковое пространство решений. В теории естественной эволюции генотип — это программа развития эволюционирующей особи. Реализация особи (одного из возможных вариантов решения задачи) в виде хромосомы с конкретными значениями генов является фенотипом. В теории естественного отбора фенотип необходим для селекции и перехода на следующую ступень эволюции. Популяция — это репродукционная группа  $PP$  хромосом фиксированной численности, в которой любые две хромосомы  $X_i, X_j \in PP, i \neq j$  могут выступить в роли родителей.

В задаче параметрического синтеза КС ДЗЗ не возникает проблем в представлении задачи, т. е. в кодировании множества потенциальных решений в виде хромосомы. Для этой задачи набор числовых или битовых параметров уже подразумевает определенное представление потенциальных решений в виде строки (хромосомы), к которой могут быть непосредственно применены операторы классического ГА с целью получения оптимальных решений. Каждый аппаратный параметр в этой задаче принадлежит множеству вещественных чисел и кодируется бинарным набором генов фиксированной длины. Каждый из  $m$  параметров КС ДЗЗ, представленный бинарным набором генов, всегда занимает фиксированный участок хромосомы. Так, например, если решению подлежит задача с  $b_m$  параметрами, каждый из которых кодируется 4 битами, то хромосома, представленная строкой длиной  $4m$  битов, кодирует все возможные потенциальные ре-

шения задачи. Пример такого кодирования (представления) задачи аппаратного синтеза в виде хромосомы длиной  $4m$  генов для морфологического блока (1) приведен ниже.

$$\begin{array}{ccccccccc} b_{1r} & b_{2r} & b_{3r} & & b_{jr} & & b_{mr} & & \\ \hline 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array}$$

В хромосоме с такой организацией в компактной форме представлено все множество потенциальных решений задачи параметрического синтеза и тем самым задано поисковое пространство задачи оптимизации. В соответствии с морфологическим блоком (1) в этом примере образовано  $m$  участков хромосомы, каждый из которых соответствует одному конкретному параметру КС. Каждый  $j$  параметр — это вещественное число, которое в хромосоме кодируется четырьмя бинарными генами и в соответствии с этим может принимать 16 вещественных значений  $b_{jr} \in \{b_{j \min(j)=1}, b_{j2}, \dots, b_{j16=\max(j)}\}$ .

Рассмотрим более подробно возможную схему кодирования потенциальных решений в задаче параметрического синтеза КС ДЗЗ. Следует отметить, что хотя в рассмотренном примере в хромосоме закодирован некоторый конкретный вариант состава значений параметров КС, однако выполнение процедуры кодирования в явном виде в ГА не предусмотрено. Хромосомы генерируются случайным образом для образования начальной популяции сразу в бинарном виде путем случайного заполнения разрядов (генов) нулями и единицами, например, с помощью генератора случайных чисел. Все последующие операторы ГА работают с кодом. На этапе селекции с образованием родительских пар происходит вычисление значений функции  $FF(X_1)$  фитнеса для каждой хромосомы  $X_1$ . Эта операция требует декодирования хромосомы, т. е. перехода от бинарного кода параметров КС к их вещественным значениям. Операция декодирования также используется на завершающей стадии поиска, когда требуется «прочитать» оптимальный состав параметров КС ДЗЗ.

В данной работе для кодирования вещественных значений параметров принят код Грея. Его особенность в том, что две соседние, принадлежащие одному ребру, вершины гиперкуба, на котором осуществляются поиск, всегда декодируются в две ближайшие точки пространства вещественных чисел, которые отстоят друг от друга на один отсчет точности. Другие известные коды, включая и двоично-десятичный код, подобным свойством не обладают.

Таблица позволяет декодировать параметры КС ДЗЗ которые представлены в хромосоме полубайт-

Декодирование хромосомных кодов параметров КС ДЗЗ в вещественные числа

Хромосомный код	Вещественные значения параметров
0000	$b_{j\min(j)}$
0001	$b_r = b_{j\min(j)} + 1(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
0011	$b_j = b_{j\min(j)} + 2(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
0010	$b_j = b_{j\min(j)} + 3(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
0110	$b_j = b_{j\min(j)} + 4(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
0111	$b_j = b_{j\min(j)} + 5(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
0101	$b_j = b_{j\min(j)} + 6(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
0100	$b_j = b_{j\min(j)} + 7(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1100	$b_j = b_{j\min(j)} + 8(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1101	$b_j = b_{j\min(j)} + 9(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1111	$b_j = b_{j\min(j)} + 10(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1110	$b_j = b_{j\min(j)} + 11(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1010	$b_j = b_{j\min(j)} + 12(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1011	$b_j = b_{j\min(j)} + 13(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1001	$b_j = b_{j\min(j)} + 14(b_{j\max(j)} - b_{j\min(j)})/15$
1000	$b_{j\max(j)}$

ным кодом Грея. Здесь  $b_{j\min(j)}$  — минимальное значение  $j$ -го параметра,  $b_{j\max(j)}$  — максимальное значение того же параметра КС ДЗЗ,  $b_j$  — искомое вещественное значение, соответствующее коду Грея в записи параметра в хромосоме; индекс  $r$ , соответствующий номеру отсчета, опущен.

Мутация хромосом для рассматриваемого ГА состоит в инвертировании символа в случайно выбранном гене. Использование операторов мутации является эффективным средством для выхода из локального экстремума. Этот механизм может применяться как для популяции родителей, так и для потомков.

Проверка того насколько хорошим является  $i$ -е решение задачи осуществляется с помощью вычисления функции фитнеса для хромосомы  $X_i$ . Обычно функция фитнеса в явном виде содержит критерий оптимизации решаемой задачи, для параметрического синтеза функция фитнеса имеет вид соотношения (4).

Селекция хромосом состоит в их отборе и формировании следующей популяции. Селекция является случайным процессом, при котором руководствуются правилом: чем большее значение функции приспособленности имеет данная хромосома, тем выше вероятность ее выбора для репродукции. Самым простым и наиболее популярным методом селекции хромосом является метод рулетки, который состоит в следующем.

Суммируются значения функции  $FF$  всех хромосом и вычисленная сумма принимается за 100 % (целое «колесо рулетки»); каждой хромосоме  $X_i$  приписывается отрезок колеса рулетки, который определяется из отношения

$$FF_r(X_i) = \frac{100 FF(X_i)}{\sum_{i=1}^N FF(X_i)}. \quad (6)$$

Этот отрезок представляется в виде интервала  $(a, b)$ , где  $0 \leq a, b \leq 100$  и служит мерой вероятности получения данной хромосомы в процессе жеребьевки. Генерируется число  $p$  из интервала  $[0, 100]$ , которое указывает конкретное место колеса рулетки. Процесс генерации повторяется  $N$  раз, где  $N$  — численность популяции. Каждое генерируемое число  $p$   $a \leq p \leq b$  определяет отрезок, и тем самым назначает хромосому, которая дальше подвергается репродукции.

Механизм останова алгоритма определяется на этапе его проектирования с учетом естественных ограничений, связанных со временем счета на ЭВМ или с учетом числа популяций, при которых значение функции приспособленности перестает улучшаться. Полученная в результате  $n$  итераций хромосома с наибольшим значением функции приспособленности принимается как решение данной задачи. Однако нет гарантии, что это решение является наилучшим.

Одним из классических вариантов оператора скрещивания является предложенное Холландом одноточечное скрещивание (кроссовер). При одноточечном скрещивании случайным образом выбирается число  $n \in \{1, 2, \dots, L-1\}$ , где  $L$  — размер хромосомы,  $n$  — точка скрещивания. Затем образуются две новые дочерние хромосомы путем обмена всех генов между двумя родительскими хромосомами, начиная с  $n+1$  до  $L$  включительно. Де Янг исследовал оператор многоточечного скрещивания, частным случаем которого является двухточечное скрещивание. Скрещивание двухточечное выполняется с помощью случайного выбора  $m$ -го и  $n$ -го места разрыва в двух родительских хромосомах, где  $1 \leq m \leq n$ ,  $m \leq n \leq L$ ,  $L$  — длина хромосомы. Затем образуются две дочерние хромосомы путем обмена генами, расположенными на  $j$ -х позициях, между двумя родительскими хромосомами, где  $1 \leq j \leq m$ ,  $n \leq j \leq L$ . Использование в операторах скрещивания многих точек разрыва приводит к схеме многоточечного скрещивания. Одним из вариантов многоточечного скрещивания (uniform crossover) является равномерное скрещивание [6]. При этом виде скрещивания случайным образом

создается маска скрещивания, которая является строкой длиной  $L$  и состоит из нулей и единиц. Из текущей популяции выбирается родительская пара, и две дочерние хромосомы как два новых решения задачи образуются по следующей схеме. Единица на  $i$ -й позиции в маске скрещивания означает, что элемент, стоящий на том же месте в хромосоме первого родителя, необходимо поместить на  $i$ -е место первой дочерней хромосомы. Ноль на  $i$ -й позиции в маске скрещивания означает, что элемент, стоящий на том же месте второго родителя, следует поместить на  $i$ -е место первой дочерней хромосомы. Теперь, если первого родителя считать вторым, а второго — первым, то по изложенному правилу можно получить вторую дочернюю хромосому. Маска скрещивания может быть как одинаковой, так и различной для каждой родительской пары в популяции.

Результатом применения изложенного выше ГА для решения задачи параметрического синтеза КС ДЗЗ является хромосома с наибольшим значением КОЭ (4). Декодируя хромосомное решение по таблице, получаем конкретные, квазиоптимальные значения набора параметров КС ДЗЗ. Рассмотренный генетический метод был опробован в тестовой задаче параметрического синтеза КС ДЗЗ с числом характеристик тематических задач, равным 20 (размерность пространства поиска) с равным числом интервалов разбиения каждой характеристики, равным 100, т. е. общее число потенциальных вариантов решения в соответствии с формулой (5) составило  $100^{20}$ . Алгоритм реализован на объектно-ориентированном языке C++, эксперимент проводился на компьютере «Pentium 4». Результаты вычислений близки к оптимальным значениям и были получены за приемлемое время вычислений.

Одно из перспективных направлений использования генетических методов связано с решением задачи составления оптимальных планов-графиков ДЗЗ, формулируется как задача синтеза расписаний (Scheduling problems) [3], однако ее решение требует конструирования метода генетического типа, отличающегося от изложенного выше. Задача синтеза расписаний станет чрезвычайно актуальной при разворачивании сети микро- и наноспутников для ДЗЗ. Использование информации, поступающей от многих спутников, сулит значительные экономические выгоды, расширяет область эффективного использования методов ДЗЗ в различных отраслях, повышает точность и достоверность регистрируемых параметров наблюдений.

Комплексное использование КС ДЗЗ со многими спутниками требует создания соответствующих планов-графиков их эксплуатации. Для решения

задач этого класса (комбинаторных задач) в настоящее время применяются различные генетические методы. Однако в каждом конкретном случае требуется формирование своих критериев и создания соответствующих процедур принятия решений. Задача синтеза расписаний формулируется как поиск оптимального распределения множества работ во времени и между обслуживающими аппаратами (серверами), в нашем случае между различными космическими аппаратами, несущими на борту различную регистрирующую аппаратуру. Для того чтобы при составлении расписаний функционирования комплексной КС ДЗЗ применить ГА, необходимо создавать свое специальное представление (кодировку) задачи. В свою очередь, созданные представления задачи не всегда позволяют применить к ним классические операторы ГА, и тогда необходимо модифицировать или разрабатывать специальные операторы, которые бы сохраняли, выращивали и рекомбинировали хорошие схемы решений задачи.

Все способы представления решений для задачи синтеза расписаний можно классифицировать на два типа. К первому типу относятся представления в явной форме, при которых генам соответствуют номера работ. Одним из прогрессивных методов такого типа представлений является способ *перестановки с повторением* [3]. При таком способе представления все решения рассматриваемой задачи представлены в хромосоме. Однако использовать классические методы скрещивания и мутации нельзя, поскольку каждая работа должна фигурировать в расписании только один раз. Возникает проблема коррекции дочерних хромосом после скрещивания. Эта проблема решается путем использования других, отличающихся от рассмотренных выше, операторов скрещивания, например на основе известного метода РМХ и его модификаций.

Второй тип представлений решений в задаче синтеза расписаний может быть назван неявным представлением. При использовании этого типа представления гены кодируют не номера работ, а правила генерации очередного варианта расписаний. Этот тип представлений использован в методе *Hsio — Lang Fanga* [4].

Разработка методов синтеза расписаний для КС ДЗЗ может быть темой отдельной публикации. В данной статье продемонстрированы возможности использования генетических методов для автоматизации проектирования КС ДЗЗ.

Генетические методы допускают объектно-ориентированный подход при программировании, что обеспечивает им универсальность и позволяет рассматривать их как современную информационную

технологии проектирования и обслуживания космических систем ДЗЗ.

1. Норенков И. П. Генетические методы структурного синтеза проектных решений // Информ. технологии.—1998.—№ 1.—С. 9—13.
2. Федоровский А. Д., Рябоконеко С. А., Козлов З. В. Основные требования к параметрам космического аппаратного комплекса зондирования Земли // Доп. НАНУ.—2003.—№ 7.—С. 118—122.
3. Bierwirth C., Mattfeld D., Kopfer H. On permutation representations for scheduling problems // Parallel problem solving from nature / Eds H. M. Voigt et. al. — Berlin: Springer-Verlag, 1996.—P. 310—318.
4. Fang H. L. Genetic algorithms in timetabling and scheduling. — Edinburg: Department of Artificial Intelligence Univ. of Edinburg, 2000.—153 p.—A dissertation.
5. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. — USA: Addison-Wesley Publ. Company, Inc., 1989.—315 p.
6. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems: An introductory with application to biology, control and artificial intelligence. — USA: Univ. of Michigan, 1975.—248 p.
7. Syswerda G. Uniform crossover in genetic algorithms // Proc. of the Third International Conf. on genetic algorithms. — Morgan Kaufmann Publishing, 1989.—P. 2—9.

---

**PARAMETRIC SYNTHESIS OF SPACE SYSTEMS FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH ON THE BASIS OF THE GENETIC METHOD**

**A. D. Fedorovskyi, M. V. Artiushenko, Z. V. Kozlov**

The methodical aspects of requirement definition to parameters of space systems for remote sensing of the Earth are considered on the basis of the genetic approach. The requirements to the system parameters are determined from the condition of their conformity to the characteristics ensuring the solution of theme problems of the RSE scientific and applied programs with the greatest probability.