ISSN 1561-8889. Космічна наука і технологія. 2002. Т 8. № 2/3. С. 73—76

ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ПИТАННЯ ДЗЗ

Обоснование алгоритма формирования состава космического аппаратурного комплекса для выполнения научно-прикладной программы ДЗЗ

А. Д. Федоровский[1], В. П. Зубко[2], В. Г. Якимчук[1]

[1]Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев
[2]Национальное космическое агентство Украины, Киев

Аппаратурный комплекс (АК) космического аппарата дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) должен состоять из приборов, параметры которых обеспечат регистрацию соответствующих информативных признаков (характеристик), необходимых для решения тематических задач научно-прикладной программы ДЗЗ. Регистрация всего многообразия информативных признаков достигается включением в состав АК приборов различного типа.

Задача состоит в обосновании алгоритма, который позволит на основе совместного анализа информативных признаков тематических задач и существующих и вновь проектируемых приборов ДЗЗ сформировать комплекс аппаратуры с параметрами, обеспечивающими выполнение тематических задач и программы ДЗЗ в целом с наибольшей вероятностью.

Поставленную задачу предлагается решить в два этапа. На первом этапе из всего множества вариантов АК исключаются те, которые не удовлетворяют конструктивным требованиям (вес, габариты, надежность, ресурс и др.). На втором этапе оценивается эффективность оставшихся вариантов АК при решении тематических задач, и по максимальному значению соответствующего критерия выбирается наилучший из них [3].

Существование АК, который являлся бы наилучшим одновременно по всем конструктивным параметрам, маловероятно. Поэтому задача сводится к нахождению варианта АК, который может не являться оптимальным ни по одному из частных критериев, но оказывается наиболее приемлемым для всего множества критериев (компромиссный вариант) [2].

Сложность решения задачи заключается в необходимости учитывать такие проблемы, как противоречивость критериев, различия в их размерности и масштабности, неравноценность критериев. Это приводит к необходимости нормализации критериев, введения количественных величин, позволяющих сравнивать критерии различной размерности, учитывать требования максимума и минимума, предпочтения по важности критериев.

В используемом ниже методе решения многокритериальных задач в качестве монотонного преобразования выбирается функция относительных потерь $\omega[f_i(B_c)]$, которая уравнивает порядок относительных отклонений от оптимальных значений по всем критериям и приводит их к безразмерной форме. Предпочтение критериев друг перед другом определяется весовыми коэффициентами [1].

Пусть $B = \{B_c\}$ — множество возможных вариантов АК, где B_c — c-й вариант АК, $c = 1, 2, ..., R$, R — количество АК, $f = \{f_i\}$ — множество конструктивных параметров (критериев), где $i = 1, 2, ..., D$. Первые d критериев необходимо максимизировать, остальные $D - d$ — минимизировать. Тогда

$$\omega_i(f_i(B_c)) = \frac{f_i^0 - f_i(B_c)}{f_i^0 - f_i(B_c)_{\min}} \qquad (1)$$

(при $i = 1, ..., d$),

$$\omega_i(f_i(B_c)) = \frac{f_i(B_c) - f_i^0}{f_i(B_c)_{\max} - f_i^0} \qquad (2)$$

(при $i = d + 1, ..., D$),

где $f_i(B_c)$ — значение i-го критерия для B_c-го варианта АК, f_i^0 — значение i-го критерия для оптимального варианта АК, $f_i(B_c)_{min}$ и $f_i(B_c)_{max}$ — минимальное и максимальное значения i-го критерия, в случае, когда i-й критерий соответственно максимизируется или минимизируется. Из выражений (1) и (2) следует, что функция $\omega_i[f_i(B_c)]$ является монотонным преобразованием $f_i(B_c)$, и поэтому множества эффективных вариантов для множеств f и ω совпадают.

Компромиссным решением называется такой квазиоптимальный вариант B^k, который удовлетворяет одновременно D уравнениям

$$\rho_1\omega_1(f_1(B^k)) = \ldots = \rho_i\omega_i(f_i(B^k)) = \ldots = \\ = \rho_D\omega_D(f_D(B^k)) = k_0, \quad (3)$$

где k_0 — параметр, определяющий степень близости компромиссного (квазиоптимального) варианта АК к оптимальному варианту по отдельным критериям; ρ_i — безразмерные весовые коэффициенты, учитывающие предпочтение между критериями множества f, причем

$$\rho_i > 0; \qquad \sum_{i=1}^{D}\rho_i = 1. \quad (4)$$

Если критерии равноценны, $\rho_i = 1/D$ для всех $i = 1, \ldots, D$.

В силу дискретности множества $\{B_c\}$ может не существовать варианта системы, удовлетворяющего равенству (3). В этом случае компромиссное решение состоит в нахождении квазиоптимального варианта АК, удовлетворяющего неравенствам

$$\rho_i\omega_i(B_c) \le k_0,\ i = 1, \ldots, D. \quad (5)$$

Чтобы найти такой вариант, будем решать задачу минимизации обобщенного критерия $W(B_c)$, который представляет собой суммарное отклонение от оптимальных значений по всем критериям в соответствии с заданным предпочтением (4). Математическое представление этой задачи выглядит следующим образом

$$\min_{B_c\in V} W(B_c) = \\ = \min_{B_c\in V}\left\{\sum_{i=1}^{d}\rho_i\frac{f_i^0 - f_i(B_c)}{f_i^0 - f_i(B_c)_{min}} + \sum_{i=d+1}^{D}\rho_i\frac{f_i(B_c) - f_i^0}{f_i(B_c)_{max} - f_i^0}\right\}, \quad (6)$$

при ограничениях

$$f_i(B_c) \ge f_i^* = f_i^0 - k_0\frac{f_i^0 - f_i(B_c)_{min}}{\rho_i};\ i = 1, \ldots, d, \quad (7)$$

$$f_i(B_c) \le f_i^* = f_i^0 + k_0\frac{f_i(B_c)_{max} - f_i^0}{\rho_i};\ i = d+1, \ldots, D. \quad (8)$$

Здесь f_i^* — допустимое значение i-го критерия, заданное из технических требований на параметры АК. Ограничения взяты в виде нестрогих неравенств, поскольку может вообще не существовать такого варианта, для которого выполняются равенства в ограничениях (7) и (8) одновременно для всех $i = 1, \ldots, D$ при $0 < k_0 < 1$.

Нахождение квазиоптимальных вариантов АК и исключение из множества $\{B_c\}$ вариантов АК, не соответствующих заданным конструктивным параметрам, происходит в следующем порядке:

1. Определение для каждого варианта прибора значений частных критериев: $f_{it(q)}$ — значение i-го критерия для q-го прибора t-го типа, $i = 1, \ldots, D$.

2. Упорядочение элементов в строках таблиц значений критериев TK_i по возрастанию, если критерий f_i минимизируется, и по убыванию, если максимизируется.

3. Определение варианта $B_c(f_i^0)$, оптимизирующего критерий f_i, и вычисление значения критерия оптимального варианта по формуле

$$f_i^0 = \sum_{t=i}^{T} f_{it(q)}^0,$$

где $f_{it(q)}^0$ — минимальное значение i-го критерия (в случае минимизации критериев) для q-го прибора t-го типа, т. е. суммирование элементов первого столбца упорядоченной таблицы TK_i.

4. Определение максимального (наихудшего при минимизации критерия) варианта $B_c(f_{i\,max})$ и вычисление значения критерия по наихудшему варианту.

$$f_i(B_c)_{max} = \sum_{t=i}^{T} f_{itmax} = \sum_{t=i}^{T} f_{iq(e)},$$

где f_{itmax} — наихудшее значение i-го критерия q-го прибора t-го типа, т. е. крайние значения $f_{iq(e)}$ в строке упорядоченной таблицы TK_i.

5. Проверка выполнения неравенств

$f_i^0 \le f_i^*$ — если критерий минимизируется,

$f_i^0 \ge f_i^*$ — если критерий максимизируется.

6. Вычисление допустимых значений критериев на типы приборов по формуле

$$f_{it}^* = f_i^* - f_i^0 + f_{itq}^0,$$

где f_i^0 — значение i-го критерия для оптимального варианта АК, полученного после первого упорядочения таблиц значений критериев (п. 2); f_{itq}^0 — значения критерия q-го прибора, t-го типа, входящего в оптимальный вариант АК.

7. Усечение вариантов приборов одновременно по всем критериям из условия

$f_{itq} \le f_{it}^*$ — если критерий минимизируется,

$f_{itq} \ge f_{it}^*$ — если критерий максимизируется

и проверка существования пересечения $B_c \ne 0$.

8. Формирование всех возможных конструктивных вариантов АК $\{B_c\}$ и вычисление значений критериев $f_i(B_c)$ для каждого варианта, где $c = 1, \ldots, R^k$ (R^k — количество сформированных конст-

руктивных вариантов АК).

9. Проверка попадания в допуск одновременно по всем критериям

$f_i(B_c) \leq f_i^*$ — если критерий минимизируется,

$f_i(B_c) \geq f_i^*$ — если критерий максимизируется.

10. Проверка на эквивалентность — есть ли варианты с одинаковыми или близкими значениями k_0. Если такой вариант единственный, то этот вариант есть решение задачи, т. е. квазиоптиальный конструктивный вариант АК. Если есть эквивалентные варианты, то переходим к п. 11.

11. Вычисление значений обобщенного критерия по формуле (6) для каждого эквивалентного варианта АК ($B_c^э$).

12. Из множества эквивалентных вариантов АК выбираются те, для которых значения $W_c < W^*$, где W^* пороговое значение, заданное из конструктивных требований на параметры АК. После отсева бесперспективных вариантов составляется перечень эквивалентных вариантов АК, удовлетворяющих допустимым значениям одновременно по всем конструктивным критериям.

На втором этапе для каждого эквивалентного варианта АК вычисляются оценки их эффективности при решении тематических задач научно-прикладной программы ДЗЗ, по максимальным значениям которых выбирается искомый вариант состава АК. Для таких оценок используется функция принадлежности F, которая показывает эффективность использования каждого аппаратурного комплекса для решения тематических задач и программы ДЗЗ в целом [4].

Обозначим $M = \{M_p\}$ — научно-прикладная программа ДЗЗ, состоящая из множества подпрограмм, где M_p — p-я подпрограмма; $p = 1, 2, ..., h$ (h — количество подпрограмм). $A(M_p) = A\{A_{pl}\}$ — множество тематических задач p-й подпрограммы, где A_{pl} — l-я задача p-й подпрограммы, $l = 1, 2, ..., k_p$ (k_p — количество задач p-й подпрограммы). $a(A_{pl}) = \{a_{plj}\}$ — множество характеристик (информативных признаков) l-й задачи p-й подпрограммы, где a_{plj} — j-я характеристика l-й задачи p-й подпрограммы, $j = 1, 2, ..., m_{pl}$ m_{pl} — количество характеристик l-й задачи p-й подпрограммы). $b(B_c) = \{b_{cj}\}$ — множество параметров c-го АК, где b_{cj} — j-й параметр c-го АК.

Чтобы оценить эффективность АК при решении каждой задачи, определим соответствие параметров c-го эквивалентного АК ($B_c^э$) характеристикам l-й задачи, p-й подпрограммы (A_{pl}) с помощью функции принадлежности

$$F_1(B_c^э, A_{pl}) = \sum_{j=1}^{m(pl)} \rho(a_{plj}, A_{pl}) G(b_{cj}, a_{plj}); \qquad (9)$$

$$p = 1, ..., h; \quad l = 1, ..., k_p; \quad c = 1, ..., R^э,$$

где $G(b_{cj}, a_{plj})$ — функция соответствия j-го параметра c-го АК (b_{cj}) j-й характеристики l-й задачи p-й подпрограммы (a_{plj}), ρ_{ilj} — весовой коэффициент важности j-й характеристики для l-й задачи p-й подпрограммы. Функция соответствия, показывает степень соответствия значений параметров АК соответствующим характеристикам тематических задач

$$G(b_{cj}, a_{plj}) = [1 - S(b_{cj}, a_{plj})]; \qquad (10)$$

где $S(b\}_{cj}, a_{plj})$ — функция, характеризующая близость значений параметров АК соответствующим характеристикам тематических задач.

Функция близости для j-го параметра q-го прибора (b_{tqj}) к j-й характеристике l-й задачи p-й подпрограммы (a_{plj}) определяется в соответствии с выражениями:

— для параметров прибора, значения которых максимизируются, т. е. чем больше значение параметра, тем больше вероятность решения задачи

$$S(b_{cj}, a_{plj}) = \begin{cases} (a_{plj} - b_{cj})/a_{plj}, & a_{plj} \geq b_{cj}, \\ 0, & a_{plj} < b_{cj}; \end{cases} \qquad (11)$$

— для параметров АК, значения которых минимизируются, т. е. чем меньше значение параметра АК, тем больше вероятность решения задачи

$$S(b_{cj}, a_{plj}) = \begin{cases} (b_{cj} - a_{plj})/b_{cj}, & a_{plj} < b_{cj}, \\ 0, & a_{plj} \geq b_{cj}; \end{cases} \qquad (12)$$

— для параметров АК, значения которых должны попадать в определенный диапазон между нижней $\underline{a}_{plj}$ и верхней $\overline{a}_{plj}$ границами

$$S(b_{cj}, a_{plj}) = \begin{cases} (b_{cj} - \overline{a}_{plj})/b_{cj}, & \overline{a}_{plj} < b_{cj}, \\ 0, & \underline{a}_{plj} \leq b_{cj} \leq \overline{a}_{plj}, \\ (\underline{a}_{plj} - b_{cj})/a_{plj}, & \underline{a}_{plj} > b_{cj} \end{cases}. \qquad (13)$$

Для случая, когда отсутствуют параметры, необходимые для регистрации соответствующих характеристик задач, $S(b_{tqj}, a_{plj}) = 1$.

При этом должно выполняться соотношение

$$\sum_{j=1}^{m(pl)} \rho(a_{plj}, A_{pl}) = 1, \; j = 1, ..., m_{pl}.$$

Эффективность c-го эквивалентного АК ($B_c^э$) при выполнении подпрограммы Mp вычисляется с помощью функции принадлежности такого вида:

$$F_2(B_c^э, M_p) = \sum_{l=1}^{k(p)} \rho(A_{pl}, M_p) F_1(B_c, A_{pl}), \qquad (14)$$

$$p = 1, ..., h,$$

где $\rho(Ail, Mi)$ — весовой коэффициент важности задачи A_{il} для подпрограммы M_p; при этом должно выполняться соотношение

ISSN 1561-8889. Космічна наука і технологія. 2002. Т 8. № 2/3. С. 76—83

$$\sum_{l=1}^{k(p)} \rho(A_{pl}, M_p) = 1.$$

Эффективность c-го эквивалентного АК ($B_c^э$) АК при выполнении научно-прикладной программы в целом (M) определяется с помощью функции принадлежности такого вида:

$$F_3(B_c^э, M) = \sum_{p=1}^{h} \rho(M_p, M) F_2(B_c, M_p); \qquad (15)$$

где $\rho(Mp, M)$ — весовой коэффициент важности подпрограммы Mp для программы M, при этом должно выполняться соотношение

$$\sum_{p=1}^{h} \rho(M_p, M) = 1.$$

Выполнив вычисления F_3 для всех эквивалентных АК по максимальному значению функции принадлежности (15) определяется квазиоптимальный состав АК как наиболее эффективный для решения всего множества задач научно-прикладной программы ДЗЗ. Выбранный вариант состава АК является решением поставленной задачи.

1. Волкович В. Л., Волошин А. Ф., Даргейко Л. Ф. и др. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления. — Киев: Наук. думка, 1984.—216 с.
2. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. — М.: Наука, 1982.—254 с.
3. Федоровский А. Д. Системный подход при проектировании сложной оптической аппаратуры // Оптико-мех. промышленность.—1980.—№ 3.—С. 36—38.
4. Федоровский А. Д., Даргейко Л. Ф., Зубко В. П., Якимчук В. Г. Об оценке эффективности аппаратурных комплексов дистанционного зондирования Земли // Доп. НАНУ.—2001.—№ 10.—С. 120—124.

Дешифрирование космических снимков ландшафтных комплексов на основе структурно-текстурного анализа

А. Д. Федоровский, В. Г. Якимчук, С. А. Рябоконенко, И. П. Пахомов, К. Ю. Суханов

Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев

При проведении различных мероприятий, связанных с сельским, лесным и водным хозяйствами, решением задач городского и промышленного строительства, обычно выполняется геофизическое районирование территорий с использованием аэрокосмической информации. С этой целью по космическим снимкам (КС) проводится дешифрирование и последующая классификация расположенных на территории ландшафтных комплексов (ЛК) как по оптическим спектральным признакам, так и по структурно-текстурным характеристикам.

Известны работы по исследованию структурных (форма, размер, относительное положение и ориентация элементов ЛК) и текстурных (внутреннее строение элементов ЛК) признаков природных объектов, которые проводились на основе оптического когерентного спектрального анализа. Так, например, в работе [6] рассматривается структурно-зональный анализ (СЗА) как метод дешифрирования на космических снимках изображений геологических и других объектов. Идея СЗА состоит в оптическом преобразовании фотоснимков и получении количественной оценки ПЧС путем оптической фильтрации наиболее информативных признаков, характеризующих пространственную структуру изображения.

В настоящее время ИСЗ оснащены оптической сканирующей аппаратурой высокого разрешения, позволяющей получать изображения в цифровой форме. В связи с этим для исследований оптической пространственной структуры и текстуры изображений в ЦАКИЗ ИГН НАН Украины вместо оптического когерентного спектрального анализа был применен цифровой метод, позволяющий, используя возможности современных ЭВМ, значительно ускорить и автоматизировать процесс дешифрирования КС. При этом стало возможным не только снизить материальные и временные затраты, но и создавать компьютерные хранилища геоинформации для их последующего использования.

Цель данной работы показать возможности структурно-текстурного анализа при дешифрова-