

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАЗПОЗНАВАНИЯ РАЗНОРОДНЫХ ВНЕШНИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ВО ВРЕМЯ ПОЛЁТОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В. Д. Бабишин, Ю. Н. Макаров, А. А. Шелупанов,
О. О. Евсютин, К. А. Соседко

Рассматривается проблема проведения дистанционного зондирования Земли во время полётов космических кораблей и орбитальных станций в условиях воздействия множества внешних разнородных объектов с различными параметрами, содержащими разнородные критерии, что в конечном итоге приводит к искажению конечного изображения в виде дребезжания объекта. Для устранения данного дефекта предложен один из современных методов обработки данных – алгоритм на основе клеточного автомата. Для повышения достоверности распознавания разнородных объектов при проведении дистанционного зондирования Земли предложен метод многокритериальной оптимизации на основе использования гиперболической функции для решения многокритериальной задачи. Также проведена оценка эффективности предложенного метода с помощью методики расчёта на конкретном примере сравнения эффективности штатных многопунктных и однопунктных технологических циклов управления (ТЦУ) космическими аппаратами для 11 выбранных частных критериальных функций (показателей) ТЦУ.

Ключевые слова: надёжность сложных технических систем, клеточный автомат, методы многокритериальной оптимизации, оценка эффективности, гиперболическая функция.

Введение

Большую роль в изучении космического пространства, поверхности Земли и других планет играют методы регистрации и хранения информации фотографическими и электронно-оптическими системами. В качестве сложных технических систем (СТС) будем подразумевать космические орбитальные станции (МКС), космические аппараты (КА). Современная съёмочная оптико-электронная аппаратура, предназначенная для проведения дистанционного зондирования Земли во время полётов космических кораблей и орбитальных станций, позволяет получать снимки с высокой разрешающей способностью. Однако в момент осуществления съёмки, на систему распознавания оказывает влияние множество внешних разнородных объектов с различными параметрами, содержащими разнородные критерии, что в конечном итоге приводит к искажению конечного изображения в виде дребезжания объекта.

В связи с большим спектром применимости результатов космической съёмки дистанционного зондирования Земли, востребованы новые методы обработки данных для повышения качества полученных материалов [1 – 3].

В данной статье мы рассмотрим распознавание объектов с помощью теории клеточных автоматов [1, 2], а для повышения достоверности распознавания внешних разнородных объектов будем использовать метод многокритериальной задачи принятия решений, в качестве которого будем рассматривать метод использования гиперболической функции для решения многокритериальной задачи [4, 5].

Для оптимизации принятия решений в работе предложен вариант сравнительной многокритери-

альной оценки эффективности работы прибора, осуществляющего космическую съёмку дистанционного зондирования Земли. Оценка эффективности предлагаемого метода осуществляется на основе применения гиперболической функции ожидаемой желательности (приведённой полезности). В данном методе предусматривается, что критериальная функция $g(x_i)$ является случайной функцией с известным законом распределения вероятностей показателя (x_i). Для решения данной задачи введём понятие многокритериальной целевой функции, а также рассмотрим методику её расчёта на примере методики расчёта на конкретном примере сравнения эффективности штатных многопунктных и однопунктных ТЦУ КА для 11 выбранных частных критериальных функций (показателей) ТЦУ.

Общие положения

Данная методика предназначена для оценки эффективности работы прибора, осуществляющего космическую съёмку дистанционного зондирования Земли.

В данной методике предлагается сравнительная оценка разнотипных объектов с разным количеством параметров, а для каждого параметра вводится свой критерий.

Работу методики рассмотрим на конкретном примере оценки многокритериальной задачи принятия решений [4, 5].

Оцениваемые показатели эффективности работы прибора и расчётные соотношения

Работа предлагаемой методики предусматривает три режима:

1. Ввод наименований и анализ разнотипных объектов (табл. 1).

2. Ввод наименований и анализ однотипных систем (табл. 2).

3. Ввод наименований и анализ параметров однотипных систем (табл. 3).

Таблица 1

Ввод наименований и анализ разнотипных объектов

№ системы	Наименование системы
1	Многоточечная система управления
2	Одноточечная система управления

Таблица 2

Ввод наименований и анализ однотипных систем

№	Наименование объекта	Количество схем ТПУ	Количество показателей
1	Разнотипные объекты	2	11

В 5-й и в 6-й графах табл. 3 приводится текущее значение показателя РТ для каждой системы. Например, значение 7-го показателя для системы 2 (максимальное количество КА, которым одновременно передаются команды управления) равно 1.

В 4-й графе табл. 3 приводится контрольное

значение для всех 11 показателей Р1. Например, для 8-го показателя:

P1	очень плохо	1	соответствует очень плохим значениям показателя
P2	плохо	2	соответствует плохим значениям показателя
P3	удовлетворительно	3	соответствует удовлетворительным значениям показателя
P4	хорошо	6	соответствует хорошим значениям показателя
P5	очень хорошо	10	соответствует очень хорошим значениям показателя

Табл. 4 дополняет табл. 3 по всем контрольным показателям (P1, P2, P3, P4, P5) для каждой частной критериальной функции. В табл. 4 приводятся контрольные значения частных показателей для 1-й из сравниваемых схем управления КА.

После того, как заполняются все четыре таблицы, осуществляется принцип приведения разномерных частных параметров к единой шкале отсчёта. Для этого для каждого частного критерия по 5 контрольным точкам, как указано в предыдущем параграфе, строится функция $f(P_i)$ по аппроксимирующему полиному n -й степени.

$$X(P) = a[0] + a[1]P + 2a[2]P^2 + \dots + na[n]P^n, \quad (1)$$

где a определяется степенью точности показателя полинома.

Таблица 3

Ввод наименований и анализ показателей однотипных систем

№	Наименование параметра	Размерность	P1	РТ с. 1	РТ с. 2
1	Число управляемых КА	шт.	1	30	3
2	Гарантированная точность определения координат КА	м	300	10	70
3	Гарантированная точность определения скорости движения КА	м/с	1000	1000	10
4	Гарантированная точность отсчёта времени на борту КА	м/с	100	5	30
5	Среднесуточный суммарный интервал времени и радиоконтакта КА с НКС НАКУ КА	мин	10	100	25
6	Средняя стоимость одного сеанса управления КА средствами НАКУ	тыс. руб.		20 000	2
7	Максимальное число КА, которым одновременно передаются команды управления	шт.	1	10	1
8	Средняя длительность технологического цикла управления КА	ч	480	3	100
9	Среднее время подготовки управляющих воздействий по одному сеансу управления	мин	180	40	50
10	Максимальный интервал прогнозирования местоположения КА с гарантированной точностью	сут	1	2	7
11	Максимальное время доведения задач по СУ до подразделений НАКУ КА	мин	120	60	18

Зависимость (1) получается путём аппроксимации таблично заданной функции для пяти контрольных показателей методом наименьших квадратов.

На рис. 1 показана зависимость аппроксимирующей функции для одного из 11 показателей. Затем для каждого из 11 показателей вычисляется функция желательности:

$$Y_j(x) = Y[X(P_j)] = Y[e^{-X(P_j)}].$$

Значения данных функций приведены в табл. 5.

Затем определяется обобщённый показатель W_Σ для каждого из приведённых ТЦУ

$$W_\Sigma = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m Y[X_j(P_{jk})]},$$

где m – общее число частных параметров ТЦУ, учитываемых при оценке альтернативных вариантов ТЦУ; k – номер альтернативного варианта ТЦУ; P_{jk} – значения j – частного показателя для k -го альтернативного варианта ТЦУ.

Соответственно, значения обобщённого показателя W_Σ для двух типов ТЦУ приведены в табл. 6.

Наиболее оптимальный ТЦУ из 2-х вариантов ТЦУ определяется из соотношения:

$$Wk0 = \max W_\Sigma(k),$$

где $k \in ku$ – множество альтернативных вариантов.

Как видно из табл. 6, наиболее оптимальным вариантом будет многопунктная схема управления $Wk0 = 0,46377$.

Программа содержит следующие файлы:

egavga	bgi	файл базы данных
os par	exi	файл главной программы управления
tabl2 01	id	файл формирования табл. 1
tabl2 02	id	файл формирования табл. 2
tabl2 03	id	файл формирования табл. 3
tabl3 01	id	файл заполнения табл. 1
tabl3 02	id	файл заполнения табл. 2
tabl3 03	id	файл заполнения табл. 3
types	id	файл обработки программы

Изложенная методика синтеза оптимального ТЦУ КА выполнена в виде макетного образца специального

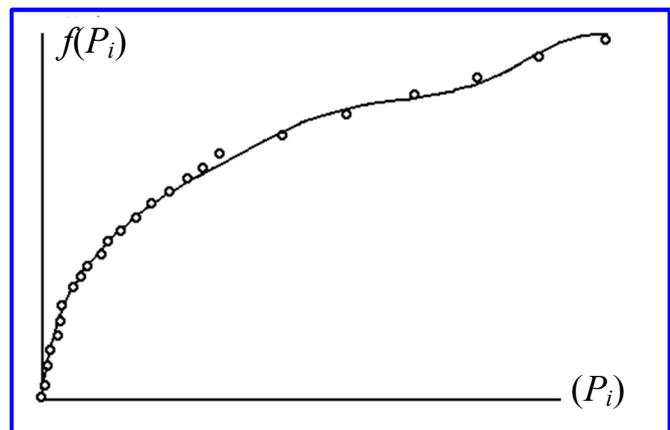


Рис. 1. Зависимость аппроксимирующей функции желательности для одного из 11 показателей

Критериальные значения частных показателей

Таблица 4

№	Наименование параметра	Размерность				
		P1	P2	P3	P4	P5
1	Число управляемых КА, шт.	1	2	5	10	30
2	Гарантированная точность определения координат КА, м	300	100	20	10	5
3	Гарантированная точность определения скорости движения КА, м/с	1000	500	100	10	0,5
4	Гарантированная точность отсчёта времени на борту КА, м/с	100	50	10	1	0,1
5	Среднесуточный суммарный интервал времени и радиоконтакта КА с НКС НАКУ КА, мин	10	20	60	180	400
6	Средняя стоимость одного сеанса управления КА средствами НАКУ, тыс. руб.	10 ⁶	100 000	10 000	1000	500
7	Максимальное число КА, которым одновременно передаются команды управления, шт.	1	2	3	6	10
8	Средняя длительность технологического цикла управления КА, ч	480	240	120	48	24
9	Среднее время подготовки управляющих воздействий по одному сеансу управления, мин	180	120	60	20	10
10	Максимальный интервал прогнозирования местоположения КА с гарантированной точностью, сут	1	3	5	10	20
11	Максимальное время доведения задач по СУ до подразделений НАКУ КА, мин	120	90	60	30	10

Таблица 5

Значения функций желательности для каждого из 11 показателей

Наименование ТЦУ	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11
Однопунктная схема	0,352	0,371	0,804	0,424	0,265	0,601	0,034	0,558	0,552	0,613	0,838
Многопунктная схема	0,894	0,704	0,040	0,633	0,584	0,601	0,896	0,972	0,599	0,133	0,513

программного обеспечения многокритериальной сравнительной оценки в операционной среде для ПЭВМ MS DOS.

Пределные возможности программы следующие:

Количество типов систем (ТЦУ)	20
Количество однотипных систем	30
Количество частных показателей эффективности системы (параметров системы)	40

Обобщённая схема алгоритма синтеза ТАУ КА приведена на рис. 2.

Таким образом, предложенная методика позволяет провести оценку альтернативных вариантов ТЦУ по выбранным критериальным функциям (показателям ТЦУ) и определить наиболее оптимальный ТЦУ КА.

Таблица 6

Значения W_{Σ} для разных схем ТЦУ

1	Однопунктная схема ТЦУ	0,397
2	Многопунктная схема ТЦУ	0,46377

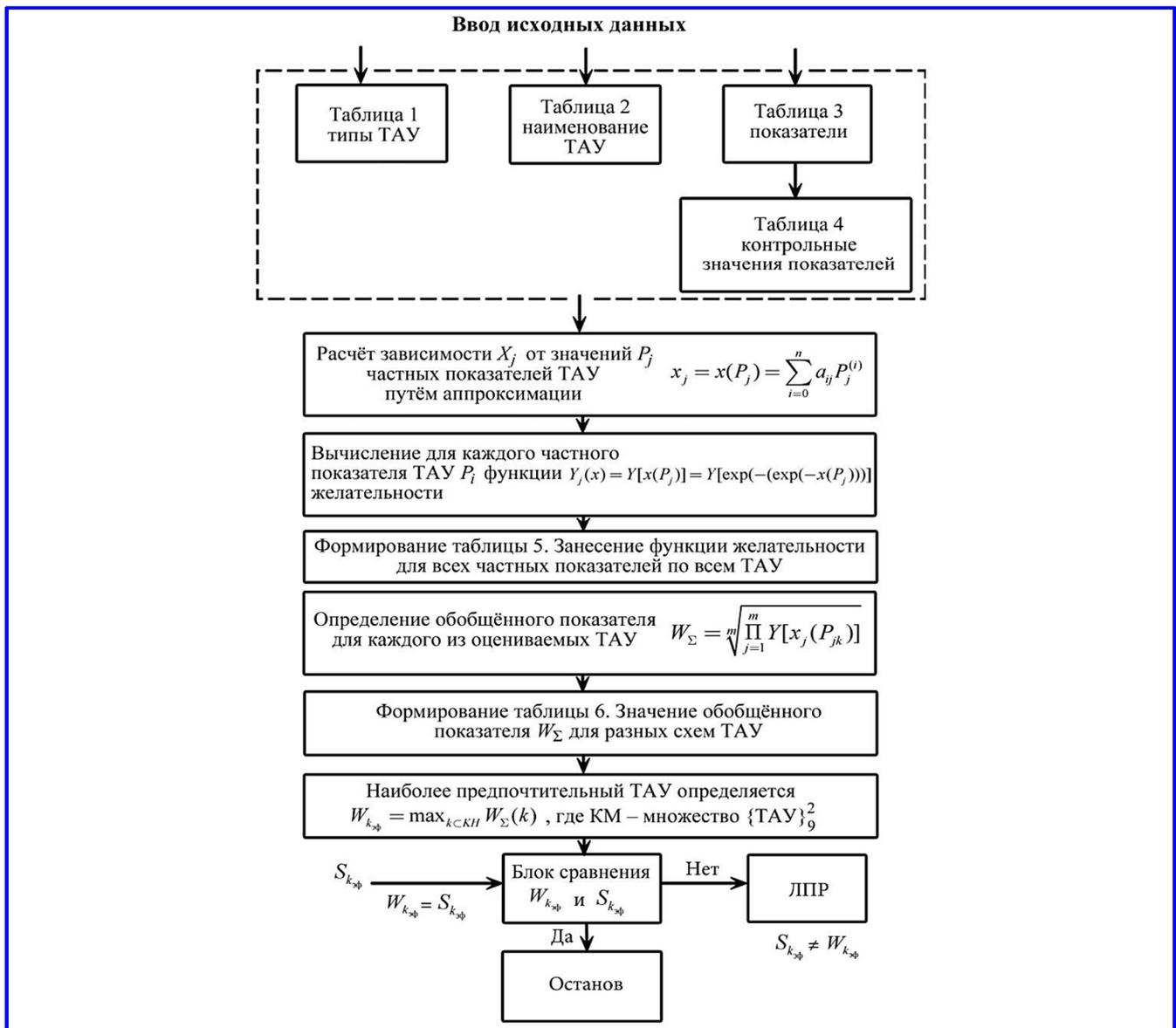


Рис. 2. Алгоритм синтеза ТАУ КА на основе использования функции желательности

Литература

1. Евсютин О. О., Шелупанов А. А. Приложения клеточных автоматов в области информационной безопасности и обработки данных // Доклады ТУСУР. – 2012. – № 1 (25). – Ч. 2. – С. 119 – 125.
2. Бондаренко Д. О., Евсютин О. О., Ращупкина А. В. Непрерывная оптимизация с помощью клеточного автомата с адаптивным выбором правила развития // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 4 (438). – С. 119 – 122.
3. Полтавский А. В. Обеспечение безопасности полётов беспилотных летательных аппаратов : научное издание / А. В. Полтавский, А. В. Рякин // Науч. вестн. МГТУ ГА. – 2007. – № 119.
4. Бабишин В. Д. Методологические основы синтеза технологий автоматизированного управления космическими аппаратами в условиях ограниченных ресурсов : Монография / В. Д. Бабишин. – М. : МГУЛ, 2002. – 258 с.
5. Бабишин В. Д., Дудников С. В., Покревский П. Е. Теория принятия решений. Математическое обеспечение процедур принятия решений на основе функций полезности : учебное пособие / ГОУ МАРТИТ, 2012. – 132 с. : ил.

Поступила в редакцию 01.11.2018

Владимир Денисович Бабишин, доктор технических наук, старший научный сотрудник, преподаватель аспирантуры, профессор, т. 8-926-311-85-38, e-mail: Vova.babishin@yandex.ru. (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

Юрий Николаевич Макаров, кандидат технических наук, профессор, директор Департамента стратегического планирования и организации космической деятельности (Госкорпорация «Роскосмос»).

Александр Александрович Шелупанов, доктор технических наук, профессор, ректор Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, т. 8 (913) 829-40-80, e-mail: rector@tusur.ru.

Олег Олегович Евсютин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, т. 8 (923) 403-09-21, e-mail: eoo@keva.tusur.ru.

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники).
Ксения Андреевна Соседко, методист аспирантуры, ассистент кафедры МИРЭА, т. 8 (915) 021-27-84, e-mail: ksenya-1991@bk.ru. (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

ENHANCEMENT OF CERTAINTY OF RECOGNIZING EXTERNAL HETEROGENEOUS OBJECTS IN THE COURSE OF EARTH REMOTE SENSING DURING COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS FLIGHTS BASED ON MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHOD

**V. D. Babishin, Iu. N. Makarov, A. A. Shelupanov,
O. O. Evsiutin, K. A. Sosedko**

The article deals with the issue of Earth remote sensing during the flights of spacecraft and orbital stations under the influence of multiple external heterogeneous objects with different parameters containing heterogeneous criteria, which results in image distortion in terms of object fluttering. To eliminate this defect one of up-to-date methods of data processing, namely the algorithm based on cellular automaton, is suggested. To enhance the certainty of recognizing heterogeneous objects during Earth remote sensing the method of multi-criteria optimization based on the use of hyperbolic function for resolution of multi-criteria problems is suggested. The evaluation of the suggested method has been performed using calculation methods by means of comparing the efficiency of nominal multi-point and single-point cycles of spacecraft control for 11 selected specific criterion functions (indices) of control cycles.

Key words: reliability of complex technical systems, cellular automaton, multi-criteria optimization methods, efficiency evaluation, hyperbolic function.

References

1. Evsiutin O. O., Shelupanov A. A. Cellular automaton applications in the area of information security and data processing // Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. – 2012. – No. 1 (25). – Part 2. – Pp. 119 – 125.
2. Bondarenko D. O., Evsiutin O. O., Rashchupkina A. V. Continuous optimization with the help of cellular automaton with adaptive choice of development rule // Proceedings of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. – 2015. – No. 4 (438). – Pp. 119 – 122.

3. Poltavskii A. V. Assurance of unmanned aerial vehicle flight safety: scientific publication / A. V. Poltavskii, A. V. Riakin // Scientific bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation. – 2007. – No. 119.
4. Babishin V. D. Methodological principles of synthesis of spacecraft automated control technologies under limited resources conditions: Monograph / V. D. Babishin. – M. : Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University, 2002. – 258 p.
5. Babishin V. D., Dudnikov S. V., Pokrevskii P. E. Decision making theory. Mathematical software for decision making procedures based on utility functions: Textbook / Moscow Academy of Labor Market and Information Technologies, 2012. – 132 p. : with figures.

Vladimir Denisovich Babishin, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher,
Professor of Graduate Studies, tel.: +7 (926) 311-85-38, e-mail: Vova.babishin@yandex.ru.
(JC «VNIEM Corporation»).

Iurii Nikolaevich MAKAROV, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Professor,
Director of Strategy Planning and Space Activities Arrangement Department.
(Roscosmos State Corporation).

Aleksandr Aleksandrovich Shelupanov, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor,
Rector of the Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,
tel.: +7 (913) 829-40-80, e-mail: rector@tusur.ru.

Oleg Olegovich Evsiutin, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher,
tel.: +7 (923) 403-09-21, e-mail: eoo@keva.tusur.ru.
(Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics).

Ksenia Andreevna Sosedko, Supervisor of Graduate Studies, Assistant Professor
Russian Technological University (MIREA), tel.: +7 (915) 021-27-84,
e-mail: ksenya-1991@bk.ru.
(JC «VNIEM Corporation»).