

А.К. Блажко, М.П. Буянкин

СЕЛЕКЦИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ МНОГОЗОНАЛЬНЫМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ СРЕДСТВОМ ПАССИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ

Для решения задач обнаружения, сопровождения, селекции объектов ракетно-космической техники в условиях сложной фоновой обстановки в современных оптико-электронных средствах (ОЭС) почти повсеместно используется такое описание объектов (совокупность обрабатываемых сигналов), которое содержит лишь ограниченное число отличительных признаков.

Выбор признаков, наиболее существенно отличающих данный класс объектов, является важнейшей задачей при разработке ОЭС. Поэтому, при разработке новых и совершенствовании существующих ОЭС очень важно отобрать минимальное число признаков, обеспечивающих заданные показатели качества работы ОЭС, но не усложняющих их конструкцию и тем самым не снижающих надежность работы систем и не удорожающих их производство и эксплуатацию.

Ключевые слова: оптико-электронные средства, орбитальная цель, селективные признаки.

А.К. Blazhko, M.P. Buyankin

SELECTION OF ORBITAL OBJECTS BY MULTI-ZONE OPTOELECTRONIC MEANS OF PASSIVE OPTICAL LOCATION

To solve the problems of detecting, tracking, and selecting objects of rocket and space technology in a complex phono-target environment, modern optoelectronic devices (OES) almost universally use such a description of objects (a set of processed signals), which contains only a limited number of distinctive features. The selection of features that most significantly distinguish this class of objects is the most important task in the development of OES. Therefore, when developing new and improving existing OES, it is very important to select the minimum number of features that provide the specified indicators of the quality of this system, but don't complicate their design, thus don't reduce the reliability of the systems and don't increase the cost of their production and operation.

Keywords: optoelectronic means, orbital target, selective features.

Введение

Наиболее часто используемыми группами селективных признаков (СП) являются [5; 13]:

– баллистические (динамические), использующие информацию об изменении координат объекта, о скорости его перемещения;

– геометрические, выделение и обработка которых зависит прежде всего от пространственного разрешения ОЭС; к этим признакам относятся размеры и форма изображения; гистограммы распределений углов, хорд, длин сторон; геометрические моменты;

– спектральные, выделение и обработка которых зависит от спектральной разрешающей способности ОЭС; к ним относятся поглощательная, излучательная и отражательная способности;

– энергетические (фотометрические), характеризующиеся обычно отношением сигнал/шум.

Блажко Александр Кириллович

кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель кафедры бортовых информационных и измерительных комплексов Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: бортовые оптико-электронные средства. Автор 11 опубликованных научных работ.

E-mail: aleksblazhko@yandex.ru

Буянкин Михаил Петрович

кандидат технических наук, преподаватель кафедры бортовых информационных и измерительных комплексов Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: приборы и системы автоматического управления космических аппаратов. Автор 29 опубликованных научных работ.

E-mail: asber@mail.ru

В каждом конкретном случае обнаружения, распознавания и классификации тех или иных объектов в многоэлементной цели (МЦ) целесообразно использовать ограниченные совокупности устойчивых признаков.

Обоснование требований к многозональным ОЭС пассивной оптической локации космического аппарата

Методы селекции по баллистическим признакам достаточно изучены [3; 12], однако в определенных операционных ситуациях наиболее предпочтительными являются спектрально-энергетические селективные признаки (СЭСП) [11], селекция по которым может осуществляться с использованием многозональных ОЭС (МОЭС).

При выборе требований к параметрам МОЭС необходимо исходить из условий и задач их применения, а также выбора метода селекции орбитального объекта (ОО) средством пассивной оптической локации [6; 9; 10].

Этими требованиями являются:

1. Возможность непрерывного наблюдения за объектами РКТ на заданных временных интервалах одновременно в УФ, видимом и ИК диапазонах длин волн (0,2...16 мкм) на дальностях более 1000 км в «смотрящем» режиме с использованием широкоформатных многозональных фотоприемных устройств (МФПУ) или фокальных сборок модулей.

2. Высокое мгновенное угловое разрешение ОЭС (1...2 угл. сек. в УФ, видимом диапазонах и 5...10 угл. сек. в ИК диапазоне) во всём угле поля зрения не менее 3 град.

3. Стойкость информационного тракта ОЭС к воздействию внешних источников фонового и помехового излучения за счёт оптимизации конструкций объектива, внешней и внутренних бленд (для внеполюсового ослабления) и оптических фильтров МФПУ (для внеполосового ослабления).

4. Оперативная обработка системой приема и передачи информации полученных в различных спектральных каналах видеоданных, их сжатие, помехоустойчивое кодирование и передача по широкополосному каналу связи со скоростью более 300 Мбит/с (для каждого спектрального канала).

При выборе метода селекции ОО среди ложных целей (ЛЦ) полагается, что ОО функционирует в соответствии со своим предназначением и из-за значительной удаленности от космического аппарата-наблюдателя (КАН) (более 1000 км) может рассматриваться как точечный источник оптического излучения.

Структурная схема системы селекции ОО

Структурная схема системы селекции ОО с использованием МОЭС определяется используемым методом селекции [1; 14].

Метод селекции должен включать в себя ряд этапов.

1. При подготовке КАН:

- осуществляется определение параметров движения центра масс ОО, параметров углового движения ОО относительно его центра масс и оптико-геометрическая структура (ОГС) ОО путем анализа и обработки разведанных и данных, полученных с помощью средств системы контроля космического пространства;

- на основании полученной информации и информации о параметрах систем, обеспечивающих выведение, дальнейшее наведение и самонаведение КАН, определяется программа управления движением КАН;

- выбирается модель отражения и излучения цели (МОИЦ), необходимая для определения эталонных значений СЭСП заданного ОО;

- осуществляется ввод в запоминающее устройство (ЗУ) бортовой вычислительной системы (БВС) КАН полетного задания и исходных данных, необходимых для решения задач обнаружения селекции.

2. При применении КАН:

- осуществляется выведение КАН в зону поиска;

- включается ОЭС и наводится в направлении на ОО;

- последовательно решаются задачи обнаружения ОО, селекции ОО среди звезд и техногенных тел;

- осуществляется слежение за ОО и определение параметров взаимного движения КАН и ОО [2; 7; 8];

- при отклонении параметров взаимного движения КАН и ОО от программно заданных, осуществляется коррекция траектории КАН;

- при обнаружении в поле зрения ОЭС ЛЦ, представляющих собой в совокупности с ОО группу наблюдаемых объектов, решается задача селекции ОО среди ЛЦ с использованием баллистических СП и решающего правила порогового типа;

- если в результате решения задачи селекции ОО среди ЛЦ с использованием баллистических СП выделено несколько объектов, решается задача селекции ОО среди ЛЦ с использованием СЭСП.

3. В процессе сближения КАН с группой объектов:

- измеряются угловые координаты наблюдаемых объектов и естественных источников излучения, параметры движения центра масс КАН, углы ориентации КАН в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК);

- в результате обработки полученной измерительной информации и априорной информации об ориентации ОО в ее орбитальной приборной системе координат (ПСК), многократно определяются параметры, характеризующие астрономо-баллистические условия (АБУ) наблюдения применительно к одному из объектов группы, например, наиболее яркому;

- на основании полученных данных с помощью МОИЦ определяются эталонные значения СП для текущих АБУ наблюдения;
- в результате обработки данных фотометрирования определяются текущие значения СП для каждого объекта группы;
- на основании обработки информации об эталонных значениях СП и текущих значениях СП принимаются частные решения о селекции;
- принимается общее решение о селекции с учетом всех частных.

Результатом решения задачи селекции ОО среди ЛЦ является номер объекта в группе, выделенного в качестве истинной цели.

Структурная схема системы селекции, входящей в состав бортового управляющего комплекса КАН и предназначенной для решения задачи селекции ОО среди ЛЦ с использованием баллистических и спектрально-энергетических СП, приведена на рисунке 1.

Основным элементом системы селекции является МОЭС пассивной оптической локации и часть аппаратных и программных средств бортовой вычислительной системы (БВС), предназначенных для решения рассматриваемой задачи.

Основной смежной с системой селекции является система управления движением (СУД) КАН, выдающая информацию об ориентации КАН ($\Theta_{(3)}^H$), параметрах состояния центра масс КАН ($X_{(3)}^H$) и углом положения естественных источников излучения (α^S, β^S) в АГЭСК.

ОЭС выполняет измерение потока электромагнитного излучения от объектов, находящихся в его поле зрения, в заданных поддиапазонах оптической области спектра и угловых координат данных объектов в ПСК КАН.

В БВС реализуются:

- алгоритмы фильтрации результатов измерений, осуществляемых с помощью ОЭС;
- алгоритмы расчета параметров, характеризующих АБУ наблюдения ОО (Блок АБУ);
- алгоритмы расчета эталонных значений СП (блок расчета эталона (БРЭ)), в котором

на основании данных БВС рассчитываются эталонные значения силы света ($I_{\lambda, N}^{эм\ omp}$, $I_{\lambda, N}^{эм\ cob}$) отраженного и собственного излучения и общая освещенность $E_{\lambda, N}^{эм}$, создаваемая n -м объектом в группе целей;

- алгоритмы принятия решения о селекции (A^S).

В запоминающем устройстве БВС (банк данных) хранится информация, необходимая для уточнения АБУ наблюдения ОО и определения эталонных значений СП. К такой информации относятся данные, характеризующие ОГС ОО и ориентацию ОО в ее орбитальной ПСК ($\Theta_{(3)}^H$). При селекции низкоорбитальной цели в состав такой информации должны быть включены массивы данных, задающих карту основных фоновых ансамблей Земли и карту облачного покрова Земли, которые необходимы для расчета излучения цели, обусловленного излучением от Земли, т.е. рассчитывается модель оптического излучения земли (МОИЗ).

С целью повышения вероятности селекции ОО среди ЛЦ в основе алгоритма принятия решения о селекции лежит динамическое комплексирование различных по своей физической природе СП на всем этапе сближения КАН с МЦ.

Алгоритм комплексирования СП, включает в себя модель и процедуру выбора набора СП, оценку его эффективности, формирование и применение сингулярного набора СП,

Аналитическое выражение функции полезности $U(s, t)$, как функции целочисленных аргументов s и t , задающей отношения доминирования между различными предельными наборами элементов СП, будет следующим

$$U(s, t) = M[\hat{u}|F] + \{M[\hat{u}|F] - \frac{1}{s+t} (\sum_{r=1}^s M[\hat{u}|\Phi_{r,n}] + \sum_{r=1}^t M[\hat{u}|\Phi_{n-r+1,n}])\} \Delta,$$

где s и t – номера элементов набора СП соответственно с наименьшим и наибольшим значением параметра, определяющего вероятность правильной селекции; $M[\hat{u}|F]$ – математическое ожидание функции полезности при заданном законе распределения $F(X)$ элементов набора СП [4; 5; 15].

Заключение

Проведенный анализ показывает, что использование МОЭС для решения задач селекции орбитальных объектов в определенных операционных ситуациях является предпочтительным. Однако, используемые при работе МОЭС спектральные энергетические признаки могут быть получены только при наличии информации о параметрах и характеристиках объектов, по которым они работают (сигнатур целей, помех, фонов) [13].

Литература

1. Арсеньев В.Н., Толстиков А.С., Тюляков О.Д. Методика выбора параметров системы селекции // Методы и алгоритмы оптимизации систем управления летательных аппаратов. 1999. С. 224.
2. Гладышев А.И., Зимовец А.И., Нечай А.А., Обухов А.В. Применение Big Data для анализа околоземного космического пространства // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 127–134.
3. Гофман В.Э., Ракчеев Д.П., Сафьян Д.А., Толстиков А.С. Телевизионная система селекции подвижных оптических целей // Специальная техника средств связи. Техника телевидения. 1990. Вып. 1. С. 32–41.
4. Ефимов А.Н., Кутеев В.М. Исследование и моделирование некоторых свойств элитных групп // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1980. № 3.
5. Захаров В.А., Блажко А.К., Смирнов Д.В., Фуров А.Н. Распознавание элементов сложной баллистической цели на конечном участке траектории полета на основе комплексирования селективных признаков // Известия института инженерной физики. 2020. Т. 55, № 1. С. 7–10.
6. Каменев А.А., Полуян М.М. Обоснование требований к техническому облику и характеристикам малого низкоорбитального космического аппарата с многоспектральной оптико-электронной системой наблюдения за объектами РКТ // Доклады II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы создания и применения космических аппаратов и робототехнических средств в интересах ВС РФ». СПб., 2018.
7. Лоскутов А.И., Дуников А.С., Артюшкин А.Б., Нечай А.А. Математическая модель системы символической синхронизации наземной приемно-регистрирующей станции телеметрической информации в условиях флуктуаций амплитуды сигнала // Вестник Российского

нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2017. № 1. С. 11–19.

8. Мысливец Е.Г., Пучкова И.А., Нечай А.А., Антонов Д.А. Синтез модели автоматизированной информационной системы радиоэлектронного мониторинга объектов наблюдения на основе логико-алгебраического подхода // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 4. С. 135–142.

9. Нечай А.А., Борисов А.А., Борисова Ю.И. Точечный анализ данных дистанционного зондирования земли средствами языка программирования Python // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2019. № 1. С. 49–55.

10. Полончик О.А., Артюшкин А.Б., Нечай А.А., Полончик Е.О. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли на базе спутников со стабилизацией вращением // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2017. № 1. С. 35–41.

11. Ракчев Д.П., Кириченко Д.В. Распознавание космических аппаратов по спектральным признакам // Труды Первой международной авиакосмической конференции. 1993. Т. 6. С. 64–71.

12. Саврасов О.А. Алгоритм селекции оптических целей, учитывающий неравноточность и взаимную корреляцию селективных признаков // Методы и алгоритмы оптимизации систем управления летательных аппаратов. 1996. С. 29–32.

13. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Многоспектральные оптико-электронные системы [Электронный ресурс]. – URL: www/bnti.ru/showart.asp

14. Тихонов Ю.Ф., Блажко А.К. Структурный синтез спектрально-оптико-электронных систем // Проблемные вопросы проектирования и эксплуатации бортовых и наземных систем управления объектов ракетно-космической техники РВСН: тез. докл. НТК. СПб.: МО РФ, 1999. С. 17–18.

15. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.

References

1. Arsen'ev V.N., Tolstikov A.S., Tyulyakov O.D. (1999) *Metodika vybora parametrov sistemy selektsii* [Selection method for selection system parameters]. *Metody i algoritmy optimizatsii sistem upravleniya letatel'nykh apparatov*, p. 224 (in Russian).
2. Gladyshev A.I., Zimovets A.I., Nechaj A.A., Obuhov A.V. (2020) *Primenenie Big Data dlya analiza okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva* [Application of Big Data for the analysis of near-earth space. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta*]. *Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 4, pp. 127–134 (in Russian).
3. Gofman V.E., Rakcheev D.P., Saf'yan D.A., Tolstikov A.S. (1990) *Televizionnaya sistema selektsii podvizhnykh opticheskikh tseley* [Television system for the selection of moving optical targets]. *Spetsial'naya tekhnika sredstv svyazi. Tekhnika televideniya*, iss. 1, pp. 32–41 (in Russian).

4. Efimov A.N., Kuteev V.M. (1980) *Issledovanie i modelirovanie nekotorykh svoystv elitnykh grupp* [Research and modeling of some properties of elite groups]. *Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika*, no. 3 (in Russian).
5. Zaharov V.L., Blazhko A.K., Smirnov D.V., Furov A.N. (2020) *Raspoznavanie elementov slozhnoy ballisticheskoy tseli na konechnom uchastke traektorii poleta na osnove kompleksirovaniya selektivnykh priznakov* [Recognition of elements of a complex ballistic target in the final segment of the flight trajectory based on the integration of selective features]. *Izvestiya instituta inzhenernoj fiziki*, vol. 55, no. 1, pp. 7–10 (in Russian).
6. Kamenev A.A., Poluyan M.M. (2018) *Obosnovanie trebovanij k tekhnicheskomu obliku i harakteristikam malogo nizkoorbital'nogo kosmicheskogo apparata s mnogospektral'noj optiko-elektronnoj sistemoj nablyudeniya za ob'ektami RKT* [Justification of the requirements for the technical appearance and characteristics of a small low-orbit spacecraft with a multispectral optoelectronic monitoring system for spacecraft objects]. *Doklady II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy sozdaniya i primeneniya kosmicheskikh apparatov i robototekhnicheskikh sredstv v interesah VS RF»* [Reports of the II All-Russian Scientific and Practical Conference “Problems of Creation and Application of Spacecraft and Robotic Means in the Interests of the RF Armed Forces”]. St. Petersburg, 2018 (in Russian).
7. Loskutov A.I., Dunikov A.S., Artyushkin A.B., Nechaj A.A. (2017) *Matematicheskaya model 'sistemy simvol'noj sinhronizatsii nazemnoj priemno-registriruyushchej stantsii teletricheskoy informatsii v usloviyah fluktuatsij amplitudy signala* [Mathematical model of the system of symbolic synchronization of the ground receiving-recording station of telemetric information in conditions of fluctuations in the signal amplitude]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 1, pp. 11–19 (in Russian).
8. Myslivets E.G., Puchkova I.A., Nechaj A.A., Antonov D.A. (2020) *Sintez modeli avtomatizirovannoy informatsionnoy sistemy radioelektronnoy monitoringa ob'ektov nablyudeniya na osnove logiko-algebraicheskogo podkhoda* [Synthesis of a model of an automated information system for electronic monitoring of observation objects based on a logical-algebraic approach]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 4, pp. 135–142 (in Russian).
9. Nechaj A.A., Borisov A.A., Borisova Yu.I. (2019) *Tochechnyy analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli sredstvami yazyka programmirovaniya Python* [Point analysis of Earth remote sensing data by means of the Potkhon programming language]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 1, pp. 49–55 (in Russian).
10. Polonchik O.L., Artyushkin A.B., Nechaj A.A., Polonchik E.O. (2017) *Radiolokatsionnye sistemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli na baze sputnikov so stabilizatsiey vrashcheniem* [Radar systems for remote sensing of the Earth based on satellites with rotation stabilization]. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, no. 1, pp. 35–41 (in Russian).
11. Rakcheev D.P., Kirichenko D.V. (1993) *Raspoznavanie kosmicheskikh apparatov po spektral'nym priznakam* [Spectral recognition of spacecraft]. *Trudy Pervoy mezhdunarodnoj*

aviakosmicheskoy konferentsii [Proceedings of the First International Aerospace Conference], Moscow, Molniya Publishing, vol. 6, pp. 64–71 (in Russian).

12. Savrasov O.A. (1996) *Algoritm selektsii opticheskikh tseley, uchityvayushchiy neravnotochnost' i vzaimnuyu korrelyatsiyu selektivnykh priznakov* [Algorithm for the selection of optical targets, taking into account the unevenness and cross-correlation of selective features]. *Metody i algoritmy optimizatsii sistem upravleniya letatel'nykh apparatov* [Methods and algorithms for optimization of aircraft control systems]. St. Petersburg, pp. 29–32 (in Russian).

13. Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G. *Mnogospektral'nye optiko-elektronnye sistemy* [Multispectral optoelectronic systems]. Available at: www/bnti.ru/showart.asp (in Russian).

14. Tihonov Yu.F., Blazhko A.K. (1999) *Strukturnyy sintez spektrozonal'nykh optiko-elektronnykh sistem* [Structural synthesis of spectrozonal optoelectronic systems]. *Problemnye voprosy proektirovaniya i ekspluatatsii bortovykh i nazemnykh sistem upravleniya ob'ektov raketno-kosmicheskoy tekhniki RVSN : tezisy dokl. NTK* [Problematic issues of the design and operation of on-board and ground control systems of objects of rocket and space technology of the Strategic Missile Forces: abstracts of the scientific and technical conference]. St. Petersburg, pp. 17–18 (in Russian).

15. Fomin Ya.A., Tarlovskij G.R. (1986) *Statisticheskaya teoriya raspoznavaniya obrazov* [Statistical pattern recognition theory]. Moscow, Radio i svyaz' Publishing, 264 p. (in Russian).