

КРИТЕРИЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Д.В. Дяченко

(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

В статье предлагается критерий классификации космических объектов при решении задачи их обнаружения оптикоэлектронными средствами по длине «следа», состоящий в определении времени, необходимого для обнаружения объекта с требуемыми показателями правильного обнаружения и ложной тревоги.

критерий классификации космических объектов

Постановка проблемы и анализ литературы. Различие в блеске и угловой скорости наблюдаемых космических объектов (КО) наиболее часто используются, как признаки для их классификации при оптических и оптико-электронных наблюдениях и обуславливают применение разных методик для регистрации изображений и получения координатной информации о низкоорбитальных и высокоорбитальных КО.

В работах ряда авторов [1 – 3] предложено классифицировать наблюдаемые КО по вектору скорости следующим образом: «быстрые» – видимые угловые скорости которых относительно звезд составляют от 5 до нескольких десятков угловых секунд в секунду и «медленные» – видимые угловые скорости которых относительно звезд не превышают этого значения.

Практика современных наблюдений искусственных спутников Земли (ИСЗ) и опасных КО показывает, что подобный упрощенный подход к классификации наблюдаемых объектов не обеспечивает возможность наиболее эффективного применения наблюдательных средств, методов и алгоритмов обработки информации в них.

Снижение эффективности применения оптико-электронных систем (ОЭС) при наблюдении КО (в частности по поисковым возможностям) имеют место, например, когда по медленным КО применяются алгоритмы и программы разработанные для обнаружения быстрых объектов и наоборот.

Ввиду этого, для обеспечения наиболее эффективного выбора и использования имеющихся алгоритмов обработки результатов наблюдения и недопущения неоднозначных ситуаций, когда выбранный алгоритм не является оптимальным для получения требуемой информации об объек-

те конкретного типа, возникает необходимость разработки нового критерия классификации ИСЗ.

Цель работы состоит в классификации космических объектов по относительной скорости изменения положения их изображений в картинной плоскости оптико-электронного приемника и образуемому за время формирования кадра «следу», с учетом характеристик конкретного приемника, оптико-механического тракта, условий наблюдения и требуемых показателей оперативности обнаружения.

Основная часть. Как показал проведенный анализ, в наибольшей степени правильность классификации КО влияет на оперативность и эффективность решения задачи обнаружения КО.

Как отмечалось, в разработанных к настоящему времени алгоритмах обнаружения космических объектов на фоне звезд по данным оптических измерений в качестве исходной используется информация о неравенстве векторов скоростей КО и звезд. В этом случае существует зависимость между временем, необходимым для обнаружения КО и его угловой скоростью.

В зависимости от тактико-технических характеристик ОЭС, в частности от типа и характеристик фотоприемника и оптической системы, при наблюдении одних и тех же КО за время формирования кадра будет формироваться «след» длина которого ($l_{сл}$), в каждом конкретном случае, будет различна.

На сегодняшний день существует большое количество различных типов приемников оптического излучения (вакуумные и газонаполненные фотоэлементы, фотоумножители, электронно-оптические преобразователи, ПЗС-матрицы и др.) [4]. При этом данные приборы отличаются как по линейным размерам светочувствительного элемента (l_x/l_y), так и по его пространственной дискретизации ($n\Delta X/n\Delta Y$) в процессе считывания информации. Размеры регистрирующего элемента и фокусное расстояние объектива (f) определяют величину поля зрения ОЭС ($2\beta/2\beta$). При этом, на регистрирующие элементы имеющие одинаковые линейные размеры и равную частоту пространственной дискретизации может проецироваться область пространства, размеры которой будут определяться величиной мгновенного поля зрения (МПЗ) ОЭС. Величина смещения космического объекта по орбите за время формирования кадра будет на регистрирующем элементе представляться в виде «следа», линейные размеры которого определяются ориентацией поля зрения ОЭС, видом орбиты и характеристиками оптической системы средства (рис. 1, 2).

Время, необходимое для формирования «следа» требуемой величины ($t_{сл}$) при заданных показателях оперативности, выбирается исходя из необходимости обнаружения самого медленного объекта

$$t_{\text{сл}} = nt_{\text{к}} = \frac{l_{\text{сл}}H}{f\omega_{\text{min}}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{к}}$ – время формирования кадра; n – количество кадров; H – высота орбиты КО; ω_{min} – угловая скорость КО, в случае, когда исходя из требований по пропускной способности необходимо производить обнаружение КО за один кадр $t_{\text{сл}} = t_{\text{к}}$.

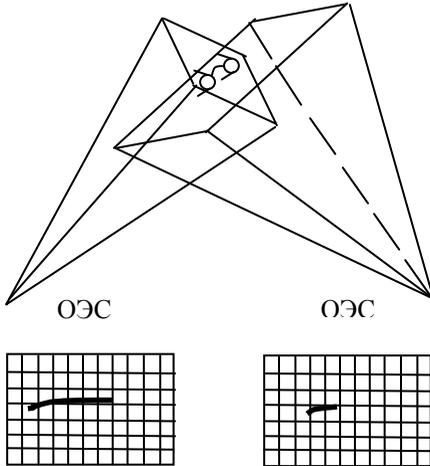


Рис. 1. Зависимость длины «следа» КО на регистрирующем элементе от размеров поля зрения ОЭС:
 – ОЭС1 – длина «следа» КО достаточная для селекции на фоне звезд по скорости;
 – ОЭС2 – длина «следа» КО недостаточная для селекции

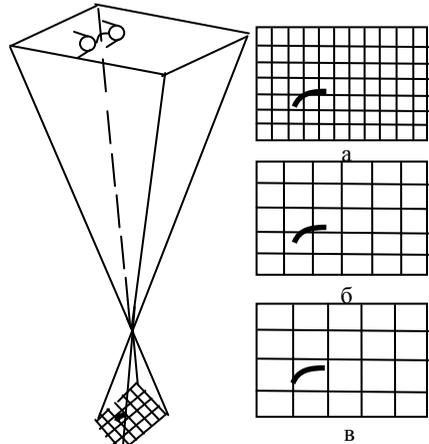


Рис. 2. Возможность селекции КО по длине «следа» в зависимости от линейных размеров элемента разложения фотоприемника:
 а – длина «следа» КО достаточная для селекции на фоне звезд по скорости;
 б, в – длина «следа» КО недостаточная для селекции

Таким образом, в зависимости от тактико-технических характеристик (ТТХ) ОЭС и требований по пропускной способности одни и те же КО для разных систем наблюдения можно классифицировать как медленные (за время формирования кадра длина «следа» от КО не превысит величины, необходимой для однозначного (с требуемыми показателями правильного обнаружения и ложной тревоги) обнаружения объекта на фоне звезд, ($l_{\text{сл}} < l_{\text{сл.обн}}$), быстрые (длина «следа» от КО достаточна для однозначного обнаружения объекта, ($l_{\text{сл.обн}} \leq l_{\text{сл}} < l_{\text{кад}}$)), и сверхбыстрые КО (за время формирования кадра объект входит в МПЗ оптического средства и успевает выйти из него, т.е. «след» от объекта проходит через весь кадр ($l_{\text{сл}} > l_{\text{кад}}$)).

При разработке критерия классификации КО необходимо учитывать, что изображения даже неподвижных объектов в кадре не будут

точечными. Их размеры $d_{кр}$, определяются дифракцией, аберрациями оптических систем и турбулентностями атмосферы

$$d_{кр} = \sqrt{d_{диф}^2 + d_{турб}^2 + d_{аб}^2}, \quad (2)$$

где $d_{диф}$ – размер изображения, определяемый дифракцией,

$$d_{диф} = 1,22 \frac{\lambda}{D} f; \quad (3)$$

λ – длина волны света ($\lambda \approx 0,555$ мкм); D – диаметр объектива;

$$d_{аб} = \sqrt{\sum d_{аб_i}^2}; \quad (4)$$

$d_{аб_i}$ – размеры изображения точечного объекта, определяемые аберрационными искажениями i -го типа; $d_{турб}$ – размер изображения точечного объекта, определяемый турбулентностями атмосферы,

$$d_{турб} \approx \frac{\lambda}{\rho_{кор}} f; \quad (5)$$

$\rho_{кор}$ – радиус корреляции атмосферы.

В зависимости от ТТХ ОЭС размер изображения объекта в элементах разложения можно определить, как

$$d_{кр.эл.р} = \frac{X d_{кр}}{l_{ф-э}}, \quad (6)$$

где X – количество элементов разложения в строке.

На рис. 2 представлена ситуация, когда длина «следа» одного и того же КО в элементах разложения для приемников с различной степенью дискретизации приемного элемента будет различна.

Минимальная длина «следа» КО, достаточная для обнаружения его на фоне звезд выбирается исходя из требования превышения ней некоторого порогового значения

$$l_{сл.об} = \nu \frac{X d_{кр}}{l_{ф-э}}, \quad (7)$$

где ν – параметр, показывающий во сколько раз длина «следа» КО должна превосходить размеры звезды в элементах разложения.

Из выражения (1) следует, что длина «следа» КО зависит от технических характеристик ОЭС, времени формирования кадра и скорости объекта следующим образом

$$l_{сл} = \frac{ft_{к\omega}}{H}. \quad (8)$$

С учетом (1) – (8) длину «следа» КО, выраженную в элементах разложения, можно определить следующим образом

$$l_{\text{сл.эл.р}} = \frac{X \text{ff}_k \omega_{\text{о.н}}}{H2\beta}. \quad (9)$$

Приведенные выше соотношения позволяют представить классификацию КО в формальном виде следующим образом.

Медленными космическими объектами предлагается считать такие объекты, длина «следа» от которых заключена в пределах

$$\frac{Xd_{\text{кр}}}{l_{\text{ф-э}}} < l_{\text{сл.эл.р}} < v \frac{Xd_{\text{кр}}}{l_{\text{ф-э}}}, \quad (10)$$

т.е. угловая скорость таких объектов относительно наблюдателя, обладающего заданными ТТХ, такая, что

$$\omega_{\text{о.н}} < \frac{vd_{\text{кр}} H2\beta}{l_{\text{ф-э}} \text{ff}_k}. \quad (11)$$

Быстрые КО – такие объекты, для которых справедливо неравенство

$$v \frac{Xd_{\text{кр}}}{l_{\text{ф-э}}} \leq l_{\text{сл.эл.р}} < H. \quad (12)$$

Сверхбыстрыми КО – те объекты, у которых длина «следа» превышает размер фотозлемента

$$l_{\text{сл.эл.р}} > X. \quad (13)$$

Выводы. Таким образом, предлагается критерий классификации КО имеющий место при решении задачи их обнаружения ОЭС по длине «следа», состоящий в определении времени, необходимого для обнаружения объекта с требуемыми показателями правильного обнаружения и ложной тревоги. Разработанный критерий может быть использован для выбора метода селекции, обеспечивающего обнаружение объектов за минимальное время с заданными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапов Ю.Н., Васильев Д.В., Заложнев Ю.И. Теория оптико-электронных следящих систем. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. л-ры, 1988. – 328 с.
2. Киселев А.А. Теоретические основания фотографической астрометрии. – М.: Наука, 1989. – 264 с.
3. Конторович В.И., Медведев В.Н. Автоматизация поиска дальних космических объектов и измерения их координат // В кн.: Автоматизация астрономических наблюдений. – Алма-Ата: Наука Каз. ССР, 1981.
4. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 695 с.

Поступила 13.03.2006

Рецензент: доктор технических наук, ст. научн. сотрудник Г.В. Худов,
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.