

ОДНОКАНАЛЬНЫЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.П. Лытюга, к.т.н. С.В. Маловица, к.т.н. Т.А. Стрелкова
(представил д.т.н., проф. А.И. Стрелков)

Показана возможность реализации одноканального обнаружителя низкоорбитальных космических объектов при контроле космического пространства оптико - электронными средствами (ОЭС) в сумеречное и дневное время. Предложена структурная схема обнаружителя и приведены результаты математического моделирования процесса обработки телевизионного сигнала в реальном масштабе времени.

С момента запуска первого искусственного спутника Земли количество космического мусора, включающего в себя отработавшие искусственные объекты, верхние ступени ракет, части космических тел, образовавшихся в результате взрывов и столкновений, непрерывно растет [1].

На низковысотных орбитах вероятность столкновения космического аппарата с метеоритами достаточно велика. При этом существенным является огромное количество микрометеоритов в этом поясе высот.

В последнее время весьма актуальными стали задачи, связанные с проблемой космического мусора. В первую очередь, это получение координатной и некоординатной информации об объектах различных типов как на высоких, так и на низких орбитах.

Наблюдения низкоорбитальных космических объектов (НКО) с целью получения, накопления и систематизации фотометрических данных являются наиболее трудоемкими. Это связано со значительными скоростями видимого движения низкоорбитальных объектов, условиями их видимости и величиной их блеска. Работы многих авторов посвящены решению задачи обнаружения НКО с использованием новых возможностей автоматизации оптико - электронных станций, например [2, 3].

ОЭС телевизионного типа обеспечивают надежную регистрацию оптического сигнала от НКО только в сумеречное время, когда наблюдаемый объект освещен солнцем, а ОЭС находится в затененной зоне. Общая продолжительность сеанса наблюдения составляет несколько десятков минут в сутки, что с учетом зависимости возможности применения ОЭС от погодных условий (облачность, состояние атмосферы), не достаточно для решения задачи своевременного обнаружения низкоорбитальных космических объектов. Для увеличения эффективности применения ОЭС

необходимо увеличить длительность сеанса наблюдения НКО.

В условиях астрономической ночи космический объект, находящийся на низкой орбите (200-800 км), находится в тени Земли и не может быть обнаружен пассивными ОЭС. Поэтому увеличение продолжительности сеанса наблюдения низкоорбитальных космических объектов пассивными оптико - электронными станциями, оснащенными фотоприемниками видимого диапазона, за счет использования ночного времени суток является невозможным. Увеличить продолжительность сеанса наблюдения можно только за счет использования сумеречного и дневного времени суток.

Сумеречные и дневные условия наблюдения характеризуются высоким уровнем фонового излучения, обусловленного рассеянием солнечного света в атмосфере и достигающего величины 3,2 зв. вел. с одной квадратной угловой секунды. Такой уровень фона приводит к насыщению фотоприемника ОЭС и к полной необратимой потере информации о наблюдаемом объекте.

Для согласования динамических диапазонов входного сигнала и фотоприемника используются различные методы, позволяющие компенсировать влияние постоянной составляющей фона на качество получаемой информации. К ним относятся: использование нейтральных фильтров и диафрагм, компенсационные методы. Однако, известные методы не позволяют компенсировать влияние флуктуационной составляющей фонового излучения, которая при пуассоновской статистике входного воздействия пропорциональна корню квадратному из среднего числа световых квантов в исходном потоке.

Еще одной особенностью наблюдения НКО является то, что объекты обладают высокой угловой скоростью. Это приводит к тому, что за время телевизионного кадра объект формирует на фотокатоде протяженную отметку, называемую «следом». След космического объекта в зависимости от высоты его орбиты может иметь длину до нескольких десятков элементов разрешения. При этом время экспозиции одного элемента разрешения снижается в десятки раз по сравнению со стандартным для телевизионных систем временем накопления. В связи с этим, сигнальная компонента выходного сигнала, формируемого элементом разрешения фотокатода под действием аддитивной смеси сигнала и фона, уменьшается, что снижает возможности ее обнаружения в условиях сильного фона простыми пороговыми обнаружителями.

Таким образом, наблюдение НКО в дневных условиях требует решения задачи обнаружения слабого сигнала на фоне сильных флуктуационных помех. Статья посвящена вопросам построения одноканального по цели корреляционного обнаружителя НКО при наблюдении ОЭС телевизионного типа в условиях сильных аддитивных помех.

Воспользуемся методикой обнаружения, позволяющей существенно улучшить характеристики обнаружения в условиях сильных аддитивных помех [4], основанной на внутрикадровой корреляционной обработке. Рассмотрим случай расположения телевизионного фотоприемника ОЭС, когда след

от НКО целиком содержится в одной строке развертки. В этом случае сигнал от НКО будет представлять собой прямоугольный импульс, длительность и амплитуда которого зависят от высоты орбиты и блеска наблюдаемого объекта. На рис. 1 предложена структурная схема одноканального обнаружителя НКО, позволяющая обнаруживать НКО в дневное и сумеречное время в реальном масштабе времени (1 - устройство стробирования; 2 - блок корреляционной обработки содержимого строба; 3 - устройство пороговой обработки корреляционной функции (корреляционного сигнала); 4 - устройство определения параметров обнаруженных сигналов; 5 - устройство вывода информации). На вход устройства обнаружителя поступает телевизионный сигнал, представляющий собой реализацию $U(t)$, являющуюся аддитивной смесью фоновой $n(t)$ и сигнальной $S(t - t_0)$ (где t_0 - задержка сигнала) составляющих, т. е.

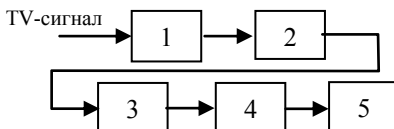


Рис. 1. Структурная схема одноканального обнаружителя НКО

$$U(t) = n(t) + S(t - t_0). \quad (1)$$

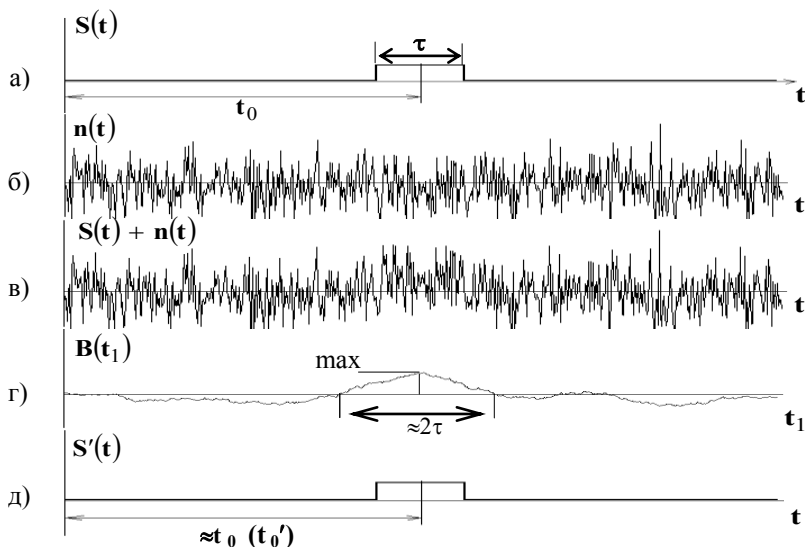
Сформированный строб содержит фрагмент телевизионного сигнала и перемещается по кадру в реальном масштабе времени. В рассматриваемом случае строб должен содержать фрагмент строки изображения, равный длине следа НКО. Блок корреляционной обработки производит вычисление корреляционного интеграла на интервале длительности импульса τ :

$$B(t_1) = \int_{t_1 - \tau/2}^{t_1 + \tau/2} U(t) \cdot S(t - t_1) dt. \quad (2)$$

Блок пороговой обработки производит сравнение значения корреляционного интеграла (2) с некоторым пороговым значением, выбираемым с учетом блеска наблюдаемого НКО, и в случае превышения порога формирует сигнал на определение параметров обнаруженных импульсов. Устройство определения параметров обнаруженных импульсов определяет значение максимума корреляционного интеграла, характеризующее блеск НКО, и положение максимума, совпадающее с центром обнаруживаемого импульса.

Для подтверждения работоспособности предложенной схемы проведено математическое моделирование функционирования одноканального обнаружителя НКО в условиях сильных аддитивных помех. Моделирование проводилось с помощью программируемого процессора для обработки аналоговых сигналов типа ADSP 2189 фирмы Analog Devices, который в настоящее время широко применяется в аппаратных средствах для решения задач подобного рода. Результаты моделирования приведены на рис. 2, где изображены: а) моделируемый сигнал от НКО; б) флуктуационная фоновая составляющая; в) аддитивная смесь сигнальной и фоновой составляющих; г) значение корреляционного интеграла;

д) сигнал, обнаруженный по максимуму корреляционного интеграла.
 Таким образом, предложенная методика и структурная схема однока-



нального корреляционного обнаружителя позволяют обнаруживать сигналы
 Рис. 2. Результаты математического моделирования

от НКО в реальном масштабе времени в условиях, соответствующих сумеречным и дневным сеансам наблюдения. При этом выигрыш, по сравнению с простыми пороговыми обнаружителями, по сигнальной компоненте составит n раз, а по отношению сигнал/шум – \sqrt{n} раз, где n - число элементов разложения, составляющих след от НКО. Так для случая $n = 80$ отношение сигнал/шум увеличится приблизительно в 9 раз, что эквивалентно увеличению проникающей способности ОЭС более чем на 2 зв. вел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Technical Report on Space Debris / UN New York. – 1999. – 46 p.
2. Самойленко Л.І. Комічне сміття - загроза космічних польотів // Вісник національного космічного агентства України. – 2001. – № 1. – С. 60-67.
3. Багров А.В., Выгон В.Г. Обнаружение тел в метеорных и болидных потоках оптическими телескопами // Околосветная астрономия (космический мусор). – М.: Космоинформ. – 1998. – С. 193 - 213.
4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Сов. радио, 1964. – 504 с.

Поступила в редколлегию 18.09.2001
