

## ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫДЕЛЕНИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Березина С.И.

(представил д.т.н., проф. Д.В. Голкин)

Рассматриваются особенности выделения низкоорбитальных космических объектов на фоне звездного неба в оптико - электронных системах наблюдения с помощью компьютерных систем обработки видеоизображений.

Известно, что основными средствами, решающими задачу обнаружения космических объектов (КО), являются радиолокационные и оптико-электронные средства. Радиолокационные средства имеют достаточно широкие зоны обзора, что позволяет обнаружить КО при частичном отсутствии априорной информации об их местоположении. Однако точностные характеристики этих средств невысоки, что вынуждает для повышения точности определения параметров орбиты КО увеличивать время их наблюдения. Это время составляет несколько суток. Оптико - электронные средства обладают значительно более высокими точностными характеристиками, но поля их обзора очень узкие. В связи с этим оптико-электронные средства достаточно точно и эффективно позволяют решить задачи обнаружения и уточнения параметров движения КО, находящихся на стационарной или высокоэллиптической орбите (не перемещающиеся или слабо перемещающиеся относительно измерительного средства).

В настоящее время в эксплуатации находится национальный космический аппарат (КА) «СІЧ - 1». В связи с ограниченным составом средств наблюдения на Украине становится актуальной задача его наблюдения и сопровождения с использованием оптико-электронных средств (ОЭС). При этом задача усложняется т.к. скорости перемещения КА в поле зрения ОЭС значительно возросли (КА находится в поле зрения узконаправленного телескопа менее 1 с.).

В этих специфических условиях для решения задачи обнаружения и сопровождения КА предлагается использовать эффективные методы и алгоритмы обработки информации, полученной с ОЭС. Реализация дан-

ных методов предполагает следующие шаги по обнаружению и измерению координат низкоорбитального КО в ОЭС наблюдения. Предполагается, что обнаружение ведется на фоне звездного неба в компьютерных системах обработки видеоизображения. Весь процесс обнаружения КА предполагается разделить на два этапа: этап поиска КО и предварительной обработки видеоизображений и этап непосредственного обнаружения перемещающегося КО на фоне звездного неба.

На первом этапе предлагается использовать априорную информацию о местоположении КО относительно ОЭС. Такая информация может быть получена в результате баллистических расчетов с учетом ошибок прогнозирования движения КО. В результате расчета могут быть выделены так называемые информационные зоны, т.е. такие зоны, где наиболее вероятно появление КО. С использованием равномерно-оптимальной стратегии поиска КО определяется оптимальный порядок просмотра этих зон с учетом ограничения на время поиска КО.

После получения видеоизображений может быть продолжена предварительная обработка. Прежде всего определяется порог, оптимальный для данного снимка. Оператор  $T$  пороговой обработки яркостного изображения  $f(x,y)$  определяется:

$$S(x,y) = T[f(x,y)];$$

$$S(x,y) = \begin{cases} \lambda_j & \text{при } t_{j-1} \leq f(x,y) < t_j; j = \overline{1, k-1}; \\ \lambda_0 & \text{при } f(x,y) < t_0; \\ \lambda_k & \text{при } f(x,y) \geq t_{k-1}, \end{cases}$$

где  $S(x,y)$  - сегментированные представления изображения;

$(k+1)$  - число интервалов значений яркости, каждому из которых может соответствовать несколько замкнутых однородных по яркости областей в  $S(x,y)$ ;

$t_0, t_1, \dots, t_{k-1}$  - набор упорядоченных по величине порогов.

Будем предполагать, что значение порога постоянно в пределах изображения и не зависит от локальных признаков, т.е. порог глобален. Это упрощение оправдано тем, что зона обзора телескопа составляет всего несколько угловых секунд. В результате получен контрастный снимок без шумов (считаем, что шум распределен по нормальному закону).

После происходит наведение контуров всех объектов на снимке. Для практической отработки были использованы четыре известных метода

выделения контуров: по Собеллу, по Робертсу, по Уоллису, по Киршу. В связи с тем, что работа ведется с объектами малой протяженности, в результате проведения исследований установлено, что наиболее пригодным для этого случая является метод Собелла. Суть состоит в контрастировании изображения нелинейным оператором в плавающем окне размером  $3 \times 3$  (рис. 1).

$A_0$	$A_1$	$A_2$
$A_7$	$f_{ik}$	$A_3$
$A_6$	$A_5$	$A_4$

Рисунок 1 – Сканирующее окно (метод Собелла)

Для контрастирования перепадов вычисляется величина

$$G_{ik} = \sqrt{x^2 + y^2},$$

$$\begin{aligned} \text{где } x &= (A_2 + 2A_3 + A_4) - (A_0 + 2A_7 + A_6); \\ y &= (A_6 + 2A_1 + A_2) - (A_6 + 2A_5 + A_4). \end{aligned}$$

Рассмотрим теперь непосредственно обнаружение о КО на фоне звездного неба. Для решения этой задачи использовались два метода: метод совмещения по реперным точкам и совмещение по звездному рисунку.

Метод совмещения двух снимков по реперным точкам заключается в следующем. Изображение, представленное дискретным набором точек, сглаживается в сканирующем окне (размером  $5 \times 5$ ) поверхностью, уравнение которой имеет вид

$$\begin{aligned} f(x,y) &= b_0 + b_1(x_i - x_0) + b_3(x_i - x_0)(y_i - y_0) + \\ &+ b_4(x_i - x_0)^2 + b_5(y_i - y_0)^2. \end{aligned}$$

Из этого уравнения находятся экстремальные точки этой поверхности. Каждый экстремум характеризуется коэффициентами  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ , которые описывают его с точки зрения крутизны, изогнутости, амплитуды. Каждый такой набор уникален. Поэтому, при совмещении соответствующих экстремальных точек двух снимков, получается сов-

мещенное изображение со всеми изменениями, которые произошли на снимках. В случае изображения звездного неба при обработке получают-ся экстремальные точки с очень близкими параметрами, т.к. изображение звезд очень близки по форме между собой и распознать их технически сложно. Кроме того, этот метод требует больших временных затрат.

Второй метод (совмещение по звездному рисунку) показал себя бо-лее эффективно. В этом случае рассматривается взаимное расположение звезд и подсчитывается дисперсия их несовпадения между собой. В слу-чае правильного совмещения дисперсия несоответствия минимальна. За-дача совмещения облегчается тем, что сдвиг между снимками априорно известен и зависит от промежутка времени между кадрами и скорости передвижения телескопа. Подавление мешающего излучения звезд и вы-деление КО осуществляется путем вычитания совмещенных снимков. В результате определяется местоположение КО и направление его движе-ния. Параметры орбиты рассчитываются относительно опорных звезд.

Изложенные выше методы и алгоритмы были апробированы и отра-ботаны на ПЭВМ с использованием методов математического модели-рования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. / Перевод с англ. под ред. Лебедева Д.С. / - Т.1, Т.2. – М.: Мир, 1982. - 790 с.
  2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М: Наука, 1969. – 572 с.
  3. Бакут П.А., Колмогоров Г.С., Ворновицкий И.Э. Сегментация изображений: методы пороговой обработки. «Зарубежная радиоэлектро-ника», № 10, 1987 г. С. 6 -23.
-