

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАСТИ ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ

д.т.н. Ю.Г. Даник, Д.В. Дяченко

Проанализирована возможность снижения вероятности ложной тревоги при реализации обобщенного метода бинокулярного обнаружения путем оптимального определения пространственных параметров области поиска изображений объекта при формировании виртуального поискового поля зрения.

Геостационарные космические объекты занимают особое место в космических программах. Они широко используются в системах телевидения и связи, военной разведки, навигации и др. Ввиду этого количество объектов в геостационарной зоне стремительно возрастает и, соответственно, имеет место ужесточение требований к временным затратам и к качеству контроля. Для уменьшения затрат времени на обнаружение геостационарных объектов (ГО) предложен новый обобщенный метод бинокулярного обнаружения (ОМБО) [1,2].

Однако анализ алгоритма обнаружения ГО на основе обобщенного метода бинокулярного обнаружения показал, что он обладает более высокой вероятностью ложного обнаружения по сравнению с традиционным алгоритмом обнаружения ГО с использованием метода оптимальной фильтрации [2].

Так, при количестве ложных обнаружений в кадре $N_{\text{лж}} \approx 0.24$ обн/кадр в ходе осмотра бинокулярным дальномером стационарной области площадью 2400 кв. градусов полем зрения размером $0.5^0 \times 0.5^0$ в среднем может быть до 2300 ложных отметок за один цикл обзора. Если в контролируемой области звездного неба наблюдается порядка 500 геостационарных спутников, то в этих условиях полезных отметок будет около 22% от общего количества сформированных отметок. В связи с этим, для повышения надежности информации об обнаруженных объектах, требуется обеспечить возможность снижения вероятности ложного обнаружения при фиксированном значении вероятности правильного обнаружения ($P_{\text{по}} \geq P_{\text{позад}}$).

Исходя из особенностей ОМБО [2], одним из наиболее важных этапов, оказывающим влияние на качество решения задачи обнаружения в целом, является определение пространственных параметров области поиска изображений объекта при формировании виртуального поискового поля зрения.

Для оптимального выбора размеров области поиска были проанализированы ситуации, при реализации которых принимается ошибочное решение об

обнаружении и в результате этого получена целевая функция [2]:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{ло}} = 1 - & \int_{\rho_0 - \frac{\Delta\rho^n}{2}}^{\rho_0 + \frac{\Delta\rho^n}{2}} \int_{\varphi_0 - \frac{\Delta\varphi^n}{2}}^{\varphi_0 + \frac{\Delta\varphi^n}{2}} \int_{m_0 - \frac{\Delta m^n}{2}}^{m_0 + \frac{\Delta m^n}{2}} P_{\text{зв}} [\exp(-\mu_{\text{зв}}) + \exp(-\mu_{\text{ф}})] + \\
 & + F_{\text{л}} [\exp(-\mu_{\text{зв}}) + \exp(-\mu_{\text{ф}})] + \\
 & + P_{\text{зв}} [(1 - P_{\text{ij}})[1 - \exp(-\mu_{\text{зв}})] + (1 - P_{\text{ли}})[1 - \exp(-\mu_{\text{ф}})]] + \\
 & + F_{\text{л}} [(1 - P_{\text{ли}})[1 - \exp(-\mu_{\text{зв}})] + (1 - P_{\text{л}})[1 - \exp(-\mu_{\text{ф}})]] d\rho d\varphi dm \Rightarrow \min,
 \end{aligned} \tag{1}$$

при условии $P_{\text{по}} \geq 0.98$, что соответствует традиционно используемым алгоритмам обнаружения, основанных на измерении длины “следа” КО.

В (1) $P_{\text{ло}}$ - вероятность ложного обнаружения объекта; $P_{\text{зв}}$ - вероятность появления звезды в элементе разложения фотоприемника; $F_{\text{л}}$ - вероятность появления ложной отметки в элементе разложения; $\mu_{\text{зв}}$ - среднее количество изображений звезд в области поиска; $\mu_{\text{ф}}$ - среднее количество шумовых выбросов в области поиска; P_{ij} - вероятность того, что звездные величины непроидентифицированных на этапе формирования разностных кадров звезд будут совпадать; $P_{\text{л}}$ - вероятность того, что разность звездных величин шумовых отметок не будет превышать величины строба по интенсивности ($r_{\text{м}}$); $P_{\text{ли}}$ - вероятность того, что звездные величины изображений звезды и ложной отметки будут отличаться друг от друга на величину, меньшую $r_{\text{м}}$.

Из анализа (1) установлено, что на размеры области поиска будут оказывать влияние вероятное смещение объекта за время приведения серии из N кадров в единую систему координат (Δs), ошибки определения координат объекта в N - м кадре, а так же дисперсии дрожания объектов, имеющие место вследствие искажающего воздействия атмосферно - оптического канала на зарегистрированное излучение.

В ходе проведения исследований была разработана методика оптимального определения пространственных параметров области поиска изображений объекта при формировании виртуального поискового поля зрения на основании минимизации функционала (1), включающая в себя алгоритмы расчета смещения объекта на фотоэлементе за время формирования виртуального поискового поля зрения, а также оценки статистических характеристик ошибок определения координат объекта в разностном кадре. Алгоритм расчета смещения объекта на фотоэлементе за время формирования виртуального поискового поля зрения приведен в [2]. Результаты его работы при размере поля зрения средств наблюдения $2\beta=12'$, времени накопления ТВ -кадра $t_{\text{нак}} = 0.045\text{с}$, времени переброса визирной оси $t_{\text{по}} = 0.08\text{с}$

представлены на рис.1 (базовое расстояние: 1 - 500 км; 2 - 600 км; 3 - 700 км; 4 - 800 км; 5 - 900 км; 6 - 1000 км).

При разработке алгоритма оценки ошибок определения координат объекта в разностном кадре была выбрана следующая модель редукции

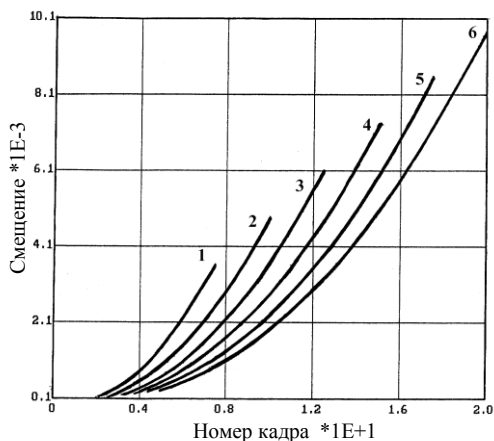


Рис. 1. Смещение объекта на фотоэлементе

$$\eta_x = a_1 \xi_x + b_1 \xi_y + c_1;$$

$$\eta_y = a_2 \xi_x + b_2 \xi_y + c_2, \quad (2)$$

где $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ - коэффициенты аффинных преобразований, а $\xi_x, \xi_y, \eta_x, \eta_y$ - случайные величины (СВ), распределенные по нормальному закону, характеризующие положение объектов в кадре до и после выполнения компенсирующих аффинных преобразований.

В этом случае преобразование (2) можно записать как

$$\tilde{\eta} = V \tilde{\xi} + \tilde{c}, \quad (3)$$

где $V = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix}$, $\tilde{c} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$ - матрица и вектор коэффициентов аффинных пре-

образований; $\tilde{\eta} = \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{pmatrix}$ - вектор координат отметок после выполнения аффинных преобразований (2).

Поскольку преобразование (2) является линейным, а случайная величина ξ подчинена нормальному закону распределения, то случайная величина $\tilde{\eta}$ также подчинена нормальному закону распределения [3].

При использовании выражений для линейной функции от нормально распределенных аргументов справедливо

$$\eta \sim N \left(V \tilde{\xi} + c; V K_{\xi} V^T \right), \quad (4)$$

где $m_{\eta} = V \tilde{\xi} + c$ - вектор математических ожиданий СВ η , $K_{\eta} = V K_{\xi} V^T$ - корреляционная матрица ошибок координат объектов после выполнения (3).

Полученные выражения справедливы для случая, когда для расширения зоны стереоскопического наблюдения задействовано два мгновенных поля зрения.

В n -м кадре математическое ожидание нормально распределенной СВ координат объекта запишется как

$$\bar{m}^{(n)} = v^{(n)} m^{(n-1)} + c^{(n)}, \quad (5)$$

а корреляционная матрица ошибок координат объектов в кадре от n -го мгновенного поля зрения примет вид

$$K^{(n)} = v^{(n)} K^{(n-1)} v^{(n)T}. \quad (6)$$

Радиус окружности, эквивалентной по площади эллипсу рассеивания, который определяется дисперсией определения координат объектов в кадре и их корреляционными моментами, вычисляется по формуле

$$R_3^N = 4 \sqrt{\sigma_{xn}^2 \sigma_{yn}^2 - K_{xyn} K_{yxn}}. \quad (7)$$

Таким образом, размер зоны обнаружения объекта в N -м разностном кадре по x (Δx), исходя из особенностей поиска повторного изображения объекта, зависит от линейного размера регистрирующего элемента (L) ОЭС и определяется как

$$\Delta x = L. \quad (8)$$

Оптимальный размер зоны обнаружения объектов по y (Δy), обеспечивающий минимум вероятности ложного обнаружения $P_{\text{ло}} \rightarrow \min$, при $P_{\text{по}}=0.98$ определяется из выражения

$$\Delta y = \left(\Delta s^N + \mu R_3^N \right), \quad (9)$$

где коэффициент μ определяется путем оптимизации целевой функции (1) методом табулирования.

В результате анализа показателей качества обнаружения объектов ОмБО установлено, что оптимальное определение пространственных параметров области поиска изображений объекта позволило снизить вероятность ложного обнаружения с $P_{\text{ло}}=(3\div 6)\times 10^{-4}$ до $P_{\text{ло}}=(2.8\div 3)\times 10^{-6}$ при $P_{\text{по}}=0.98$ и интенсивности шумов в элементе разложения фотоприемника $I_{\text{ш}}=10^{-5}$ ед./с. Таким образом, при наличии условий наблюдения, обеспечивающих интенсивность шумов $I_{\text{ш}}=10^{-5}$ ед./с, показатели качества обнаружения космических объектов ОмБО практически соответствуют показателям качества обнаружения КО на фоне звезд по скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 31335А, Україна. Спосіб виявлення малорухомих об'єктів / Даник Ю.Г., Дяченко Д.В., Карпенко В.В., Рыбачук О.І. – 2000. – БИ № 2.
2. Даник Ю.Г., Дяченко Д.В., Кондрат В.В., Рыбачук О.И. Особенности реализации бинокулярного метода обнаружения малоподвижных космиче-

ских объектов в комплексах узкопольных оптико - электронных систем с большой базой // Радиоэлектроника и информатика. – 1999. – № 2. – С. 11 - 14.

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 576 с.

Поступила в редколлегию 25.12.2000
