

ОБНАРУЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСЛЕПороГОВОГО НЕКОГЕРЕНТНОГО НАКОПЛЕНИЯ СИГНАЛА ВДОЛЬ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ.

В.Е. Саваневич¹⁾, А.Б. Брюховецкий²⁾

¹⁾ Харьковский Национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина:

domsv1@rambler.ru

²⁾ Национальный центр управления и испытания космических средств,

Евпатория, Украина: izumsasha@rambler.ru

The essence of the alternative disclosure of the moving object's trajectory comes to the accumulation of the statistics, which are proportional to the signals' energy along the possible trajectories of the object's movement. As the statistics that are being accumulated one can use the squares of the signals' amplitudes that have exceeded the threshold in the disclosure device. At that afterliminal incoherent accumulation of the signals is showing itself. Next, with the use of Khok's technology, the allocation of the space object's movement's trajectory with the subsequent determination of the space objects' (SO) orbital characteristics takes place.

Введение. Сущность предлагаемого метода обнаружения траектории движущегося объекта сводится к накоплению статистик, пропорциональных энергии сигналов вдоль возможных траекторий движения объекта. В качестве накапливаемых статистик целесообразно использовать квадраты амплитуд сигналов превысивших порог в устройстве обнаружения. При этом реализуется послепороговое некогерентное накопление сигналов. Далее, с использованием технологии Хока, происходит выделение истинной траектории движения космического объекта с последующим определением орбитальных параметров КА (космических аппаратов).

Постановка проблемы. Основными причинами, вызвавшими разработку математических моделей определения местоположения КА в кадре, является то, что необходимость поиска объекта относится к классу задач, не имеющих универсального решения. При этом возникает вопрос обнаружения и принятия решения о наличии КА в зоне обзора наблюдательного средства. Таким образом, возникает необходимость разработать подходы к обнаружению оптических сигналов слабых объектов в кадрах видеоряда оптического средства, что требует наличие соответствующих математических моделей определения местоположения КА.

Анализ литературы. Анализ источников информации [1-3] показал, что в каждом отдельном случае в той или иной мере возникает необходимость решения задачи: как при минимальных временных затратах, максимизировать эффективность использования астрономического телескопа. Одним из подходов является математическое моделирование характера движения КА в поле зрения.

Решение задачи. Изучение характера движения КА через поле зрения оптического средства (ОС) подразумевает анализ характера изменения местоположения объекта в каждом кадре видеоряда. Поскольку прохождение космического аппарата в картинной плоскости ОС является прямолинейным, равномерным, то необходимо определить параметры прямой, характеризующие данное движение.

Как известно, по одной точке, принадлежащей прямой, невозможно определить ее параметры. Однако, все прямые, проходящие через данную точку, удовлетворяют нормальному уравнению прямой:

$$\rho = \alpha \cos \varphi + \beta \sin \varphi, \quad (1)$$

где ρ , φ – траверсные дальность и угол.

Любая точка на изображении (рис. 1) в плоскости траверсных угла и дальности отображается в соответствующую кривую (рис. 2). Причем данные линии будут иметь одну единственную точку глобального пересечения, а эта точка будет иметь координаты, соответствующие истинным параметрам прямой в плоскости $\alpha \beta$. Шумовые пиксели глобального пересечения не имеют, что и является основным селективным признаком, используемым при выделении прямой.

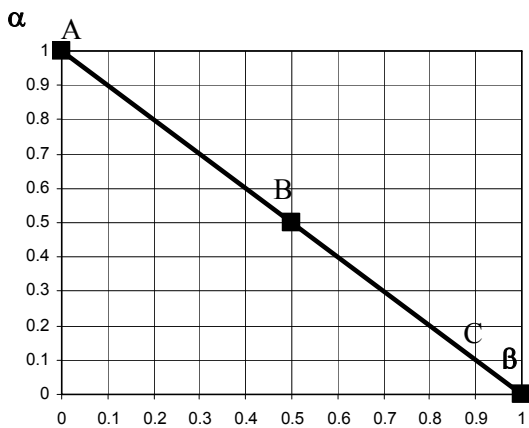


Рис. 1. Изображение отрезка

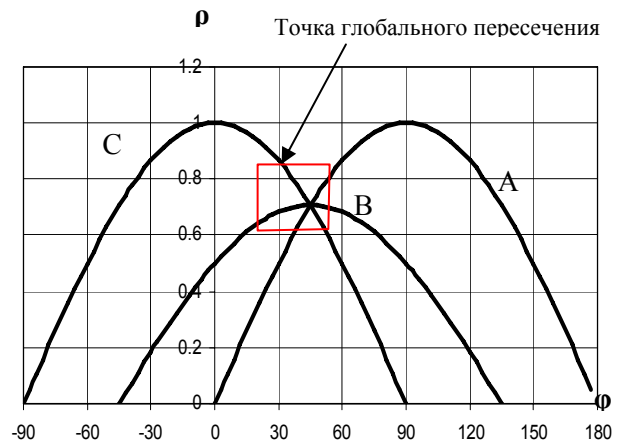


Рис. 2. Отображение точек в плоскость траверсных углов и дальности

Следовательно, необходимо произвести дискретизацию пространства параметров прямой (ППП). «Яркость» каждого пиксела с координатами α , β записывать в дискреты, с параметрами, удовлетворяющими неравенству:

$$\rho_m - \alpha \cos \varphi_n - \beta \sin \varphi_n \leq \delta_{mn}, \quad (2)$$

где ρ_m , φ_n – параметры m , n -го дискрета; δ_{mn} – константа, определяемая возможным разбросом изображения прямой.

При обработке всех кадров образуется дискрет с максимальным накоплением, параметры которого позволят определить параметры прямой, характеризующей движение КО через поле зрения. Результат определения параметров максимального дискрета (ρ_{\max} , φ_{\max}) представлен на рис. 3а, 3б.

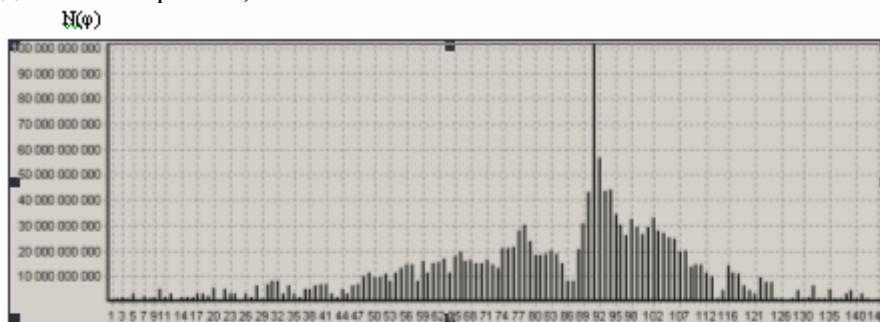


Рис. 3а. Зависимость накопления в дискретах ППП от траверсного угла

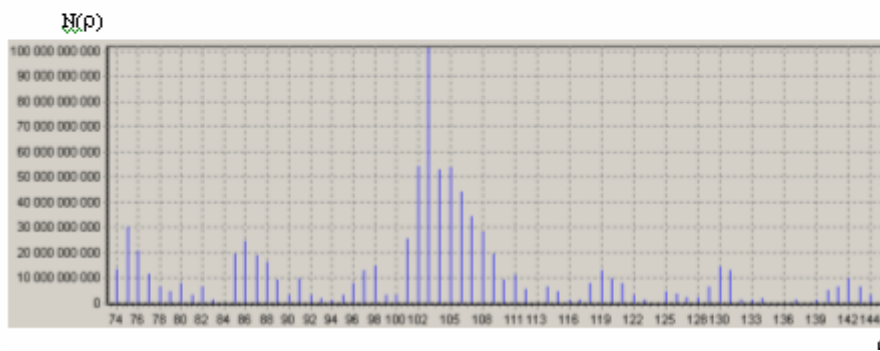


Рис. 3б. Зависимость накопления в дискретах ППП от траверсной дальности

Обрабатываемое изображение представлено на рис. 4. В данном случае, в качестве КО со слабой видимостью взята звезда со звездной величиной, соизмеримой со звездной величиной фона, формируемого телевизионной системой.

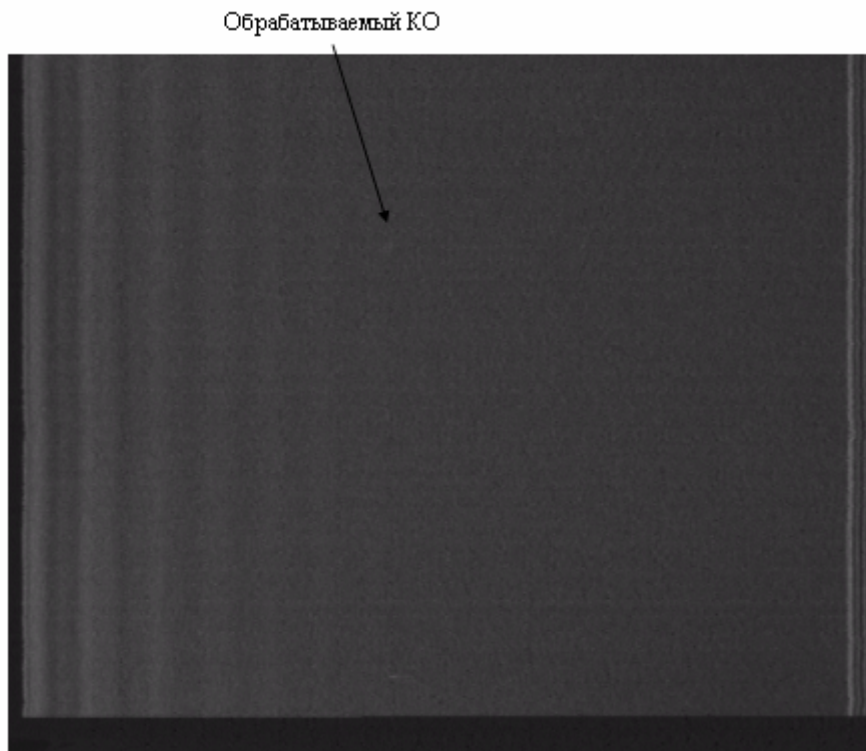


Рис. 4. Пример обрабатываемого кадра

Определив параметры прямой, характеризующей движение объекта через зону обзора, необходимо определить положение КО на прямой в зависимости от времени (номера кадра).

В качестве модели движения объекта применяется модель прямолинейного равномерного движения в плоскости. Параметры прямой, по которой движется объект, характеризуют траверсный угол φ и траверсная дальность ρ (см. рис. 5).

Движение объекта вдоль прямой характеризуют начальное положение l_0 , которое отсчитывается от траверса, и скорость \dot{l} . Ошибки измерения координат считаются независимыми, равноточными и распределенными по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием.

Прямая движения объекта описывается согласно нормальному уравнению прямой (1)

Координаты траверса в плоскости определяются как:

$$\alpha_0 = \rho \cos \varphi, \quad \beta_0 = \rho \sin \varphi. \quad (3)$$

Уравнение движения объекта вдоль прямой имеет вид:

$$l_t = l_0 + \dot{l} \Delta t, \quad (4)$$

где l_t – расстояние объекта от траверса на момент времени t ; $\Delta t = t - t_0$ – интервал времени между моментом t и моментом начала измерений t_0 .

В плоскости координаты объекта (α_t, β_t) на момент времени t определяются соотношениями:

$$\alpha_t = \alpha_0 + l_{\alpha t}; \quad \beta_t = \beta_0 + l_{\beta t}, \quad (5)$$

где $l_{\alpha t} = l_t \sin \varphi$; $l_{\beta t} = -l_t \cos \varphi$.

Взаимосвязь между расстоянием объекта от траверса и его координатами в имеет вид

$$l_t = \alpha_t \sin \varphi - \beta_t \cos \varphi \quad (6)$$

Для определения значения начального положения КО и скорости его движения вдоль линии движения перебираем все возможные значения скорости $\dot{l} = \{\dot{l}_1, \dots, \dot{l}_{Ni}\}$. Согласно (4) определяют возможное значение $l_0(\varphi, \rho(\varphi), \dot{l})$:

$$l_0(\varphi, \rho(\varphi), \dot{l}) = l_t(\varphi) - \dot{l}(t - t_0). \quad (7)$$

На рис ба представлены результаты моделирования определения начального положения и скорости движения КО. На рис бб представлены результаты обработки участка звездного неба представленного на рис. 4.

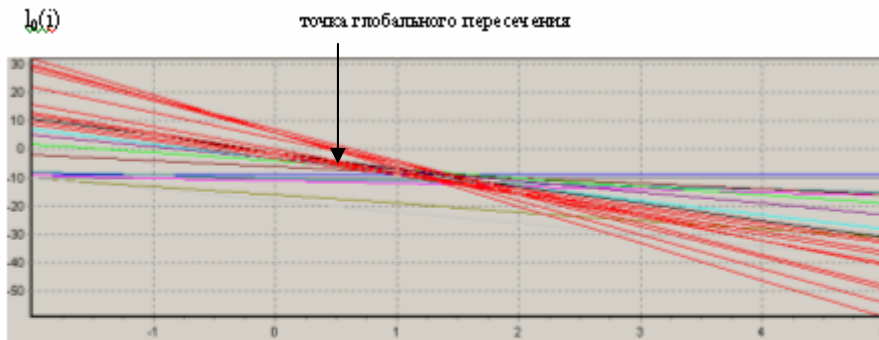


Рис. бб. Зависимость начального положения КО от скорости перемещения (по результатам измерений).

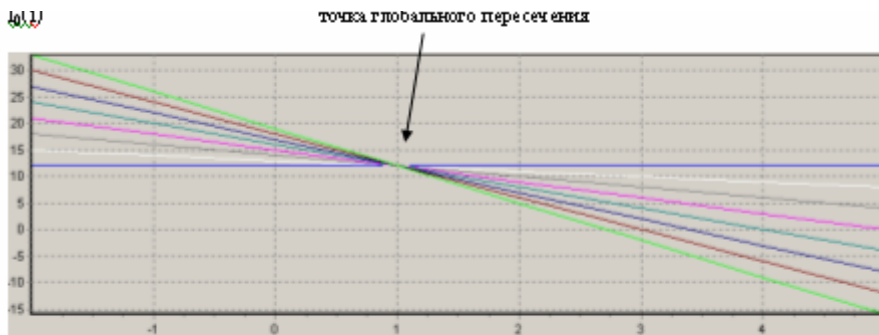


Рис. ба Зависимость начального положения КО от скорости перемещения (модель)

Как видно из рис ба, бб результаты обработки являются близкими результатам моделирования, имея больший радиус пересечения прямых, т.е. имея ошибку определения начального положения и скорости.

Далее, применив по аналогии метод нахождения координат точки глобального пересечения, производим дискретизацию пространства начального положения и скорости. После чего определяем дискрет с максимальным накоплением, параметры которого определяют значения скорости и начального положения (l_0, \dot{l}). Пример поиска максимального дискрета представлен на рис. 7.

Таким образом проведя все вышеперечисленные действия, мы получаем полный набор параметров движения КО через зону обзора наблюдательного средства – $[\varphi, \rho(\varphi), \dot{l}, l_0(\varphi, \rho(\varphi), \dot{l})]$.

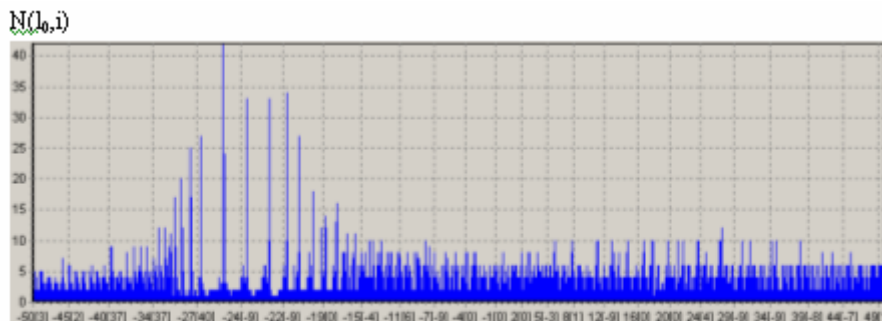


Рис. 7. Зависимость накопления в дискретах плоскости начального положения и скорости (по результатам измерений)

Выводы. Применение технологии накопления статистик объектов вдоль траекторий с неизвестными параметрами на квантово-оптической системе КОС «Сажень-С» (АЗТ-28) позволяет обнаруживать и давать оценку параметров траекторий движения космических объектов, имеющих низкие яркостные параметры. Так, предельная звездная величина КО, при которой средство АЗТ-28 может производить измерения орбитальных параметров с допустимыми ошибками, составляет 12^m - $12,5^m$, а предельная видимая звездная величина системой составляет $13,5^m$ - 14^m , таким образом существует незадействованным диапазон измерений орбитальных параметров КО, яркость которых лежит в пределах от $12,5^m$ до 14^m .

Литература

1. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – К.: Издательство КвіЦ, 2000. – 428 с.
2. Саваневич В.Є., Пугач А.В. Оптимізація параметрів двоетапної багатоканальної системи виявлення малорозмірних космічних об'єктів // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2004. – Вип. 6. – С. 170 – 182.
3. Деденок В.П., Саваневич В.Є. Ієрархічний метод виявлення малорозмірного рухомого об'єкта // Системи озброєння та військова техніка. – 2005. – № 1. – С. 40 – 45.
4. Донченко В.С., Кириченко Н.Ф. Быстрое преобразование Хока и псевдообращение // Проблемы управления и информатики. – 2002. – № 2. – С. 115 – 125.