

УДК 629.8

ОБНАРУЖЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ СЛЕЖЕНИЯ

Баранова В.С., Лешкевич С.В., Спиридонов А.А., Ушаков Д.В., Саечников В.А.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлен метод обнаружения космических объектов оптической системой слежения с использованием опорных масок, построенных на основе связи формы Фурье спектров разностных кадров видео последовательности и орбитальных параметров космических объектов.

Ключевые слова: оптические измерения, космический объект, система обнаружения, Фурье образ.

SPACE OBJECTS DETECTION BY GROUND-BASED OPTICAL TRACKING SYSTEM

Baranova V.S., Liashkevich S.V., Spiridonov A.A., Ushakov D.V., Saetchnikov V.A.

Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A method for detecting space objects by an optical tracking system using reference masks constructed based on the dependence between the Fourier spectra of the video sequence difference frame and the space object orbital parameters is presented.

Key words: optical measurements, space object, detection system, Fourier transform.

Адрес для переписки: Баранова В.С., ул. Курчатова, 5, г. Минск, 220108, Республика Беларусь
e-mail: vbaranova@bsu.by

Обнаружение космического объекта с использованием оптических данных измерений эквивалентно классической задаче обнаружения сигнала в принятой реализации некоторого процесса в присутствии квазипериодического шума. Альтернативой классическому методу оптических измерений, где космический объект на изображении представляется в виде трека на фоне стационарных звезд может быть использование видео данных [1]. Кодирование в один исходный файл видео потока оптических данных как многочисленных реализаций случайного процесса позволяет накопить достаточный объем информации для операций усреднения при решении задачи оптимального обнаружения действующих спутников и космического мусора [2].

В работе представлен метод обнаружения космических объектов оптической системой слежения построением опорных масок на основе Фурье спектра разностного кадра видео последовательности и зависимости этого Фурье спектра от орбитальных параметров космического объекта.

Формирование разностного кадра. Случайный характер интенсивности отраженного оптического потока от поверхности космического объекта не позволяет устанавливать априорные значения этого параметра в качестве порога обнаружения. Из чего следует, что в качестве базиса для извлечения признаков должны быть использованы особенности текстуры или, другими словами, формы сигнала. Как уже упоминалось ранее, одной реализации случайного процесса или одного кадра не всегда достаточно для принятия решения о наличии или отсутствии сигнала. Естественной особенностью космического

объекта в видео последовательности является движение. Чтобы представить движение объекта в виде некоторой ярко выраженной текстуры необходимо использовать разностный кадр. В качестве базиса для извлечения признаков использовались не просто текстуры разностного кадра, а Фурье образы этих текстур. На рисунке 1 представлены примеры анализируемых текстур разностного кадра спутника *AQUA* (NORAD ID: 27424) и их Фурье спектры. Для формирования разностного кадра использовались экспериментальные данные измерений и две стратегии: дифференциация каждого n -го кадра (рисунок 1, *а*) и суммирование каждых n кадров с вычитанием полученных сумм (рисунок 1, *б*).

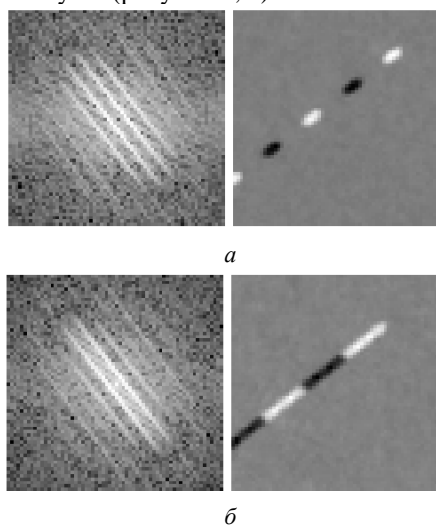


Рисунок 1 – Разностные кадры и их Фурье спектры: *а* – дифференциация 3-го кадра; *б* – суммирование 3-х кадров с вычитанием

Полученные разностные кадры разбиваются на блоки размером 64×64 . При дальнейшей обработке рассчитываются Фурье спектры каждого блока. Можно заметить (рисунок 1), что форма сигнала интенсивности спутника на разностных кадрах подобна синусоидальной волне. И чем однороднее пятно интенсивности на каждом вычитаемом кадре, тем ярче выражена частота этой синусоиды на Фурье спектре. Обработка данных оптических измерений космических объектов и оценка различных типов разностных кадров на основе их Фурье спектров показывает, что для формирования такого набора данных, который независимо от чувствительности к условиям съемки и неопределенности входной информации позволил бы определить характерные признаки для решения задачи обнаружения наиболее эффективно использовать вычитание накопленных сумм каждых 3-х кадров (рисунок 1, б).

Метод обнаружения космических объектов.

Задача обнаружения космических объектов может быть решена построением опорных масок на основе Фурье спектра полученного разностного кадра и зависимости этого Фурье спектра от орбитальных параметров космического объекта. Для определения общих характеристик Фурье спектра разностных кадров исследовались видео данные пролетов космических объектов с типами орбит, параметры которых отражены в таблице 1 (r_p – перигей, r_a – апогей, i – наклонение, T – период).

Таблица 1. Орбитальные параметры космических объектов

Спутник	NORAD ID	r_p , км	r_a , км	i , град	T , мин
AQUA	27424	705,1	706,3	98,3	98,7
KORONAS-FOTON	33504	495,6	520,8	82,4	94,6
ОКЕАН 3	21397	573,9	598,8	82,5	96,3
CUSAT 2/FALCON 9	39271	308,5	881,5	80,9	96,4
GENESIS 1	29252	477,9	495,1	64,5	94,2

В точках с близкими угловыми координатами некоторого этапа съемки космические объекты, параметры орбит которых значительно различаются по наклонению или эллиптичности, представляются Фурье спектрами с отличной частотой синусоидального сигнала разностного кадра. С другой стороны, если рассмотреть объекты с похожими параметрами орбиты и сравнить Фурье спектры их разностных кадров, получится, что совпадение по значению скорости движения достигает 95 %. Результаты показывают, что объекты с подобными параметрами орбиты движутся

согласно одинаковым закономерностям изменения скорости и угловых координат и, следовательно, могут быть обнаружены с использованием масок, построенных по одному и тому же образу для некоторых доверительных интервалов угловых координат. Для обнаружения в последовательности видео кадров спутника *AQUA* использовалась маска, построенная на основе разностного кадра спутника *KORONAS FOTON* с подобными орбитальными параметрами. На рисунке 2 отражены результаты, которые показывают максимум корреляции между Фурье спектром спутника *AQUA* и *KORONAS FOTON* при повороте последнего на разницу угла их ориентации в плоскости кадра, что выполняется автоматически алгоритмом обнаружения. В данном случае, угол поворота составил 19° . Угловые координаты области съемки, где на основе максимума корреляции обнаружен спутник *AQUA* и спутника построенной маски составили соответственно: прямое восхождение $18h14m17s$ и $01h23m35s$, склонение $+31^\circ 01' 52''$ и $+35^\circ 36' 14''$.

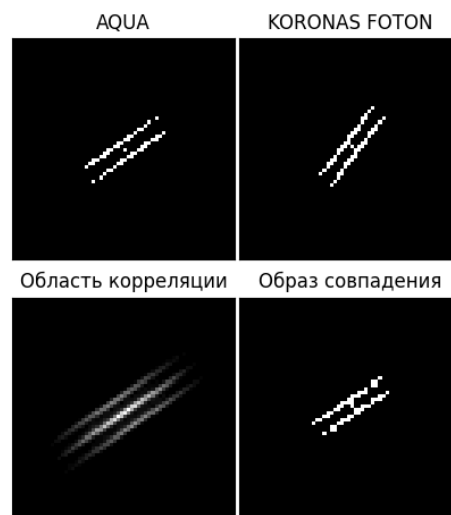


Рисунок 2 – Обнаружение спутника *KORONAS FOTON*

Литература

1. Video Data Processing System for Ground-Based Space Optical Surveillance Application / V. Baranova [et al.] // Proc. 2023 IEEE 10th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace), Milan, Italy, 19–21 June 2023 / IEEE; edited by M. Marracci. – Milan, 2023. – P. 551–555.
2. Using all-sky optical observations for automated orbit determination and prediction for satellites in low Earth orbit / T. Wijnen [et al.] // Proc. 1st NEO and Debris Detection Conference, Darmstadt, Germany, 22–24 January 2019 / ESA Space Safety Programme Office; Ed. T. Flohrer. – Darmstadt, 2019. – P. 437–444.