

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НАБЛЮДЕНИЙ

**В. С. Баранова, А. А. Спиридонов, В. А. Мечинский, З. В. Кенько,
Д. Д. Засмужец, С. В. Лешкевич, И. А. Шалатонин, В. Е. Евчик,
Д. В. Ушаков, В. А. Саечников**

*БГУ, Минск, Республика Беларусь
E-mail:sansan@tut.by*

Разработана архитектура построения университетской мобильной оптической системы слежения за низкоорбитальными космическими объектами. Для однократного пролета космического объекта в интервале 23:01:37.200 -23:02:50.780 за 09.09.2021 (UTC) получены астрометрические данные обработки изображений. На основе кеплеровой модели движения и вероятностной оценки угла места, прямого восхождения, склонения, скорости изменения прямого восхождения и склонения определена орбита неизвестного космического объекта. Используя базу орбитальных параметров Майка Макканта, идентифицирован как остаток ракеты-носителя ATLAS 2AS CENTAUR R/B (NORAD 26906).

Ключевые слова: *оптическая система слежения, космический объект, астрометрия, определение орбиты, идентификация объекта.*

Существующие оптические системы космического наблюдения используют дорогие широкоапертурные телескопы с узким полем зрения для повышения светочувствительности [1]. Мониторинг и обработка данных такими специализированными оптическими системами инкапсулированы и предоставляются в ограниченном формате [2]. Поэтому развивается тенденция мобильных астрометрических систем наблюдения в оптическом диапазоне с недорогими коммерческими готовыми аппаратными решениями, открытыми программными модулями обработки изображений, а также аналитическими и численными методами начального определения орбит [3,4].

В данной работе представлены экспериментальные результаты использование мобильной оптической системы слежения за низкоорбитальными космическими объектами Белорусского государственного университета для решения задачи определения орбиты и идентификации космического объекта.

АРХИТЕКТУРА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Непрерывное слежение за низкоорбитальными спутниками наземными оптическими станциями сложная задача с точки зрения аппаратной реализации и системы управления. Это обусловлено высокой скоростью движения космических объектов, которая в среднем составляет $0.1^\circ/\text{s}$ для высот от 400 км-1500 км. Поэтому, режим интервальных съёмки на не-

скольких пролётах космического объекта с заданным временем экспозиции является перспективным решением в области начального определения орбит. Архитектура оптической системы для прецизионных астрометрических съёмок включает три основных блока: аппаратные устройства, программное обеспечения управления и программное обеспечения обработки (см. рис.1).

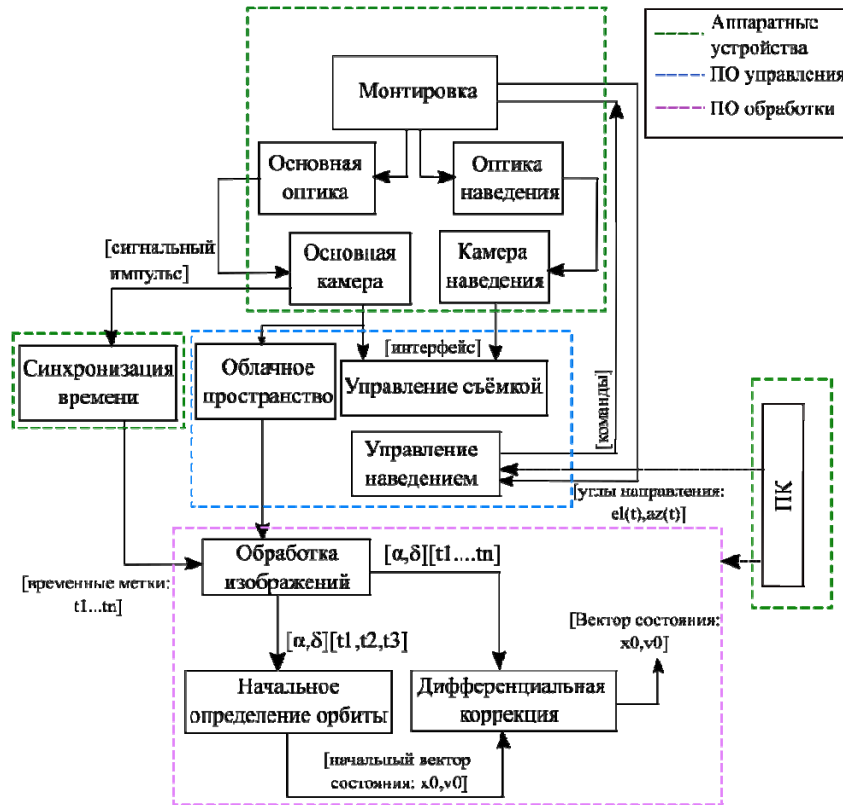


Рис.1. Архитектура мобильной оптической системы слежения

Наборы полученных данных представляют собой изображения трека космического объекта на фоне стационарных звёзд. Изображения сохраняются в формате RAW и JPEG с разрешением 6720x4480. Чувствительность датчика камеры устанавливается равным -ISO-1600. Для обеспечения стационарности звёздного фона время экспозиции эквивалентно 2 с. Эффективное поле зрения (FOV) основной оптической системы составляет $6^{\circ} 51$ минут дуги.

ОБРАБОТКА АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Средства программной обработки организуют конвейер алгоритмических этапов работы с базой данных полученных в результате серии наблюдений изображений треков космических объектов. Первый этап обработки включает базовую и астрометрическую калибровку. Вторым этапом является определение параметров орбиты неизвестного космического объек-

та. Базовая калибровка заключалась в дифференциации основного изображения с усреднёнными калибровочными кадрами (кадр смещения, темновой и кадр плоского поля). Результат процесса базовой калибровки единичного кадра трека космического объекта иллюстрирует рис.2

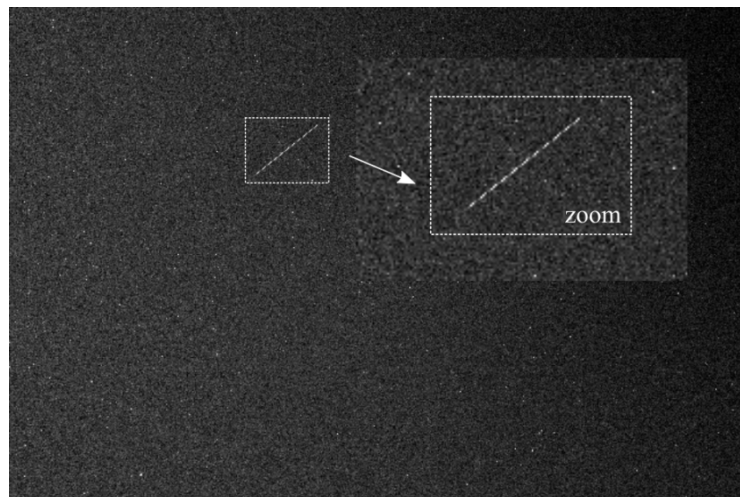


Рис.2. Изображение трека космического объекта после базовой калибровки (начало экспозиции 23:01:37.200- окончания экспозиции 23:01:39.207)

Астрометрическая же калибровка изображений подразумевала определение метаданных позиционирования, ориентации и масштаба кадра относительно мировой системы координат (WCS). В результате астрометрии, субпиксели положения космического объекта в плоскости изображения представляются угловыми экваториальными координатами α (RA) и δ (DEC).

Таблица 1

Данные астрометрии одного пролёта космического объекта

Время наблюдения t	Прямое восхождение α	Склонение δ
23:01:37.200	02h 31m 59.95s	47°05'42.4"
23:01:39.207	02h 35m 46.66	47°20'56.7"
23:01:55.099	03h 06m 26.08s	49°01'43.4"
23:01:57.106	03h 10m 14.36s	49°11'35.1"
23:02:21.161	03h 55m 40.75s	50°28'22.0"
23:02:23.168	03h 59m 15.81s	50°31'26.3"
23:02:33.160	04h 17m 03.51s	50°39'37.5"
23:02:35.167	04h 20m 27.36s	50°39'59.4"
23:02:48.773	04h 43m 00.60s	50°32'34.2"
23:02:50.780	04h 46m 08.36s	50°30'06.9"

Определение орбиты неизвестного КО осуществлялось с использованием модели Кеплера и астрометрических данных обработки изображений в виде угловых координат прямого восхождения α_i^{exp} и склонения δ_i^{exp} для $N=10$ точек однократного пролёта КО над пунктом наблюдения $53^\circ 54' 16.2''$ С.Ш., $27^\circ 32' 43.4''$ В.Д. в интервале 23:01:37.200 - 23:02:50.780 за 09.09.2021 (UTC), как показано в табл. 1. В результате вероятностной оценки угла места, прямого восхождения, склонения, скорости изменения прямого восхождения и склонения, а также анализа временного интервала наблюдений получены возможные наборы орбитальных элементов $(T_0, i_0, e_0, u_0, \vartheta_0, \Omega_0)$. Для $t_0 = 23:02:21.161$, 09.09.2021 (UTC) однозначно определены параметры орбиты $(T_0, i_0, e_0, u_0, \vartheta_0, \Omega_0) = (6454c, 63^\circ, 0.04, 62^\circ, 80^\circ, 326^\circ)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описана архитектура университетской мобильной оптической системы слежения за низкоорбитальными космическими объектами. Для однократного пролёта неизвестного космического объекта в интервале 23:01:37.200 - 23:02:50.780 за 09.09.2021 (UTC) определены параметры его орбиты на основе модели Кеплера и астрометрических данных обработки изображений. Используя базу данных орбитальных параметров Майка Макканта, идентифицирован КО (NORAD 26906). Этот космический объект является низкоорбитальным объектом космического мусора, остатком ракеты-носителя ATLAS 2AS CENTAUR R/B с высотой 735,8 км в перигее орбиты и 1466,7 км в апогее, наклонением $63,5^\circ$, орбитальный период 107,1 мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Hwang H., Park S.Y., Lee E. Angles-Only Initial Orbit Determination of Low Earth Orbit Satellites Using Real Observational Data // J. Astron. Space Sci. 2019. Vol.36, № 3. PP.187-197.
2. Baranova V.S., Saetchnikov V.A., Spiridonov A.A. Autonomous Streaming Space Objects Detection Based on a Remote Optical System. // Devices and Methods of Measurements. 2021. Vol. 12. PP. 272-279.
3. Spiridonov A.A., Kesik A.G., Saetchnikov V.A., Cherny V.E., Ushakov D.V. Determination of the orbit of unknown ultra-small spacecraft based on the circular perturbed motion model and Doppler frequency shift measurements. // Moscow University Physics Bulletin. 2020. Vol. 75, № 5. PP. 488–495. DOI:10.3103/S0027134920050203
4. Spiridonov A.A., Kesik A.G., Saetchnikov V.A., Cherny V.E., Ushakov D.V. Small Satellite Orbit Determination Methods Based on the Doppler measurements by Belarusian State University ground station. // IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems. 2021. Vol. 2, № 2. PP. 59–66. DOI: 10.1109/JMASS.2020.3047456