

Разработка прототипа оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами

**В. С. Баранова, А. А. Спиридонов, В. А. Мечинский, З. В. Кенько,
С. В. Лешкевич, Д. В. Ушаков, В. А. Саечников**

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
e-mail: vbaranova@bsu.by*

Представлена структура прототипа оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами, которая позволяет независимо от международных баз данных и глобальных систем слежения за космическим пространством обнаруживать, определять орбитальные параметры и идентифицировать действующие космические аппараты и космический мусор.

Ключевые слова: оптическая система наблюдений; низкая околоземная орбита; космический объект; угловые измерения орбит.

Development of a prototype ground-based optical system for low-orbit space objects surveillance

**V. S. Baranova, A. A. Spiridonov, V. A. Mechinsky, Z. V. Kenko,
S. V. Liashkevich, D. V. Ushakov, V. A. Saetchnikov**

Belarusian State University, Minsk, Belarus, e-mail: vbaranova@bsu.by

The structure of a prototype optical observation system for low Earth orbit space objects is presented, which enables detection, determination of orbital parameters, and identification of satellites and space debris, regardless of international databases and global space surveillance systems.

Keywords: optical observation system; low Earth orbit; space object; angular measurements of orbit.

Введение

Активное освоение космического пространства приводит к перенасыщению наиболее востребованных орбит искусственными аппаратами различного назначения. Согласно актуальным данным, в непрерывно обновляемые общедоступные каталоги включены более 50 000 космических объектов размером от 10 см и выше, из которых количество действующих спутников составляет 5677 [1]. Более того, по приблизительным статистическим оценкам, общее количество функциональных и нефункциональных космических объектов диаметром около 1 см на околоземной орбите уже достигло 1 миллиона. Требованием к непрерывному контролю и предупреждению аварийных ситуаций в пределах околоземного орбитального пространства привело к созданию и динамической оптимизации глобальных сетей слежения, включающих не только специализированные высокобюджетные наземные структуры, но и многосторонние проекты распределённых радио станций и оптических систем, инициированные учреждениями образования [2], исследовательскими институтами, коммерческими провайдерами, радиолюбителями и астрономами. Получение дополнительной информации о космической ситуации пассивными оптиче-

скими системами с использованием телескопов малой апертуры (меньше 50 см) активно развивается и способствует разрешению проблемы перегруженности глобальных сетей в рамках регионального и национального мониторинга.

В работе представлена архитектура оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами Белорусского государственного университета, которая позволяет обнаруживать действующие спутники и космический мусор, определять их орбитальные параметры и идентифицировать независимо от международных баз данных и систем контроля космического пространства.

1. Структура прототипа оптической системы наблюдений

Представленный прототип оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами является устойчивой системой обнаружения и идентификации не только действующих космических аппаратов, но также и объектов космического мусора, что позволяет: независимо от международных баз данных обнаруживать, определять орбитальные параметры и идентифицировать действующие космические аппараты и космический мусор; разрабатывать собственный каталог действующих спутников и космического мусора; обладать независимой информацией о количественных характеристиках и параметрах движения космических объектов околоземной орбиты; контролировать орбитальное функционирование действующих спутников Белорусского государственного университета. Общий вид архитектуры прототипа оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами представлен на рис. 1. Аппаратные компоненты оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами включают: несущие поворотное устройство, основную оптическую систему, дополнительную оптическую систему получения видео данных [3, 4], приёмный датчик основной оптической системы (беззеркальная камера), приёмный датчик дополнительной оптической системы видеосъёмки (модульная камера) и модуль временной синхронизации основе GPS модуля и NTP серверов, систему питания функциональных модулей, а также физический сервер обработки и хранения базы данных оптических измерений.

Программные модули оптической системы наблюдения представлены: модулем планирования наблюдений на основе программного обеспечения (ПО) прогнозирования параметров пролета космического объекта и определения режима работы оптической системы (режим слежения или всенаправленное сканирование); модулем управления поворотным устройством и процессом съёмки; модулем обработки видео данных оптических измерений; модулем обработки стационарных изображений, включающий ПО первичной и вторичной обработки; локальная база данных угловых измерений; модуль оценки точности угловых измерений, позволяющий отфильтровать ошибки и ложные выбросы; ПО реализации методов начального определения и уточнения орбиты в составе: метод Гаусса, метод на основе сканирования базы данных орбитальных параметров, метод двойной r -итерации, алгоритм определения орбиты КО по данным измерений на нескольких пролетах и модели возмущенного кругового движения, алгоритм определения орбиты КО по данным измерений на одном или нескольких пролетах в модели невозмущенного и возмущенного эллиптического движения, алгоритм дифференциальной коррекции орбитальных параметров КО.

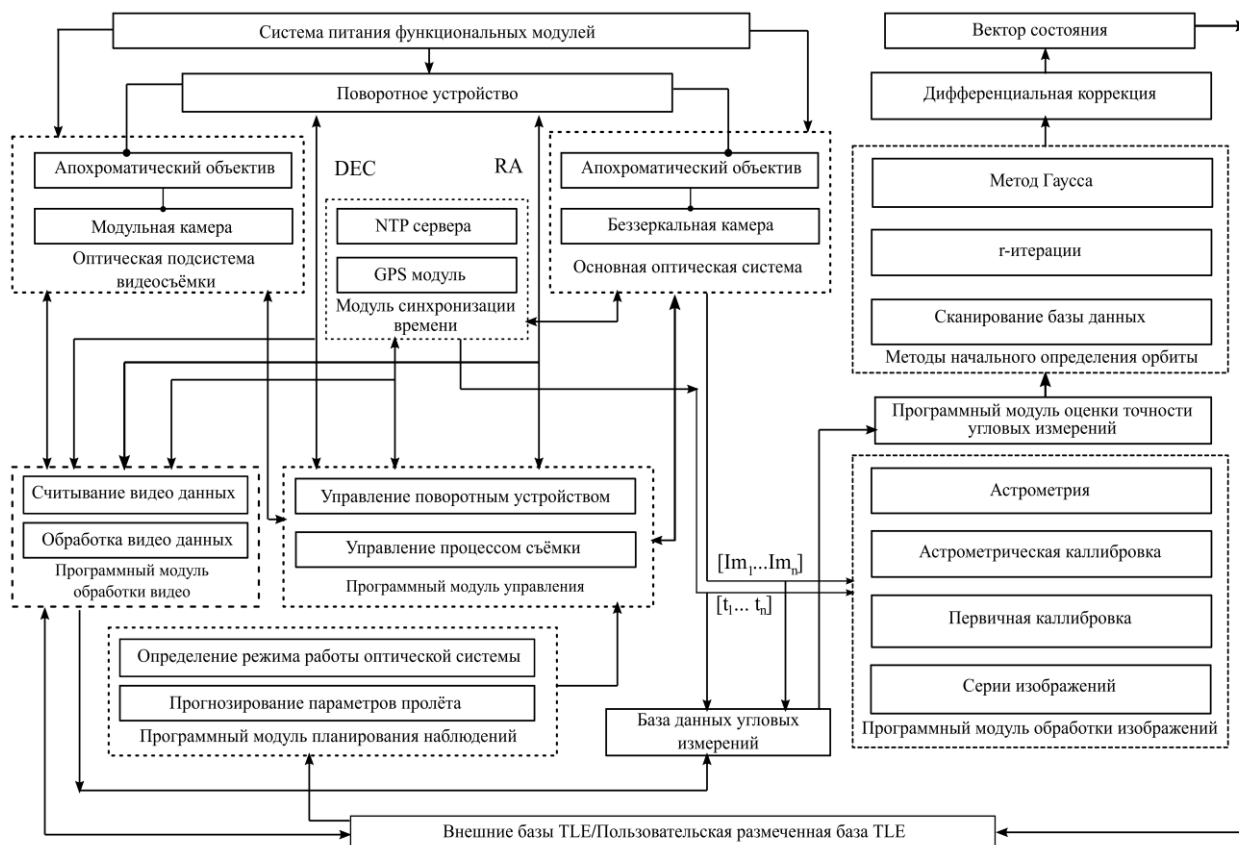


Рис. 1. Архитектура прототипа оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами

Экспериментальная верификация показывает, что предложенный прототип оптической системы наблюдения за низкоорбитальными космическими объектами позволяет проводить угловые измерения орбит и идентификацию космических объектов до 9-ой звёздной величины с ошибкой определения прямого восхождения не более 0.49° или $1.96''$ (мин. дуги) и с ошибкой определения склонения не более 0.17° , что эквивалентно $0.68''$ (сек. дуги). Данные измерений и определения орбит космических объектов загружаются в локальную базу для составления независимого каталога действующих спутников и космического мусора.

Библиографические ссылки

1. Blake J. Looking out for a sustainable space // *Astronomy and Geophysics*. 2022. Vol. 63, № 2. P. 214–220.
2. SST Anywhere – A Portable Solution for Wide Field Low Earth Orbit Surveillance / R. Danescu [et al.] // *Remote Sensing*. 2022. Vol.14, № 8. P. 1905(1–31).
3. Baranova V. S Autonomous Streaming Space Objects Detection Based on a Remote Optical System / V. S Baranova, V. A. Saetchnikov, A. A. Spiridonov // *Devices and Methods of Measurements*. 2021. Vol. 12, № 4. P. 272–279.
4. 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.*