

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО РОБОТА ОРБИТАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Шлипакова Е.М. (ИТМО), Поляков Д.Е. (ВКА имени А.Ф. Можайского)

**Научный руководитель – кандидат технических наук, Королёв С.Ю.
(ВКА имени А.Ф. Можайского)**

Введение. Космические аппараты (КА) являются сложными и дорогостоящими техническими системами. При выведении на орбиту и в процессе их эксплуатации возможно возникновение ряда нештатных ситуаций, среди которых: ошибки выведения и возмущения при отстыковки КА от ракеты-носителя, некорректное развёртывание панелей солнечных батарей и антенных устройств, отказы элементов бортового комплекса управления [1]. Кроме того, ограниченность запаса рабочего тела создаёт ситуации, в которых КА с исправной целевой аппаратурой выводятся из эксплуатации. Для парирования влияния таких ситуаций на орбите могут быть использованы перспективные сервисные космические роботехнические устройства (КР), в задачи которых входит обнаружение, сближение, обслуживание КА (диагностика, дозаправка, ремонт) [2]. При этом, решение этих задач невозможно без применения измерительных устройств (ИУ) системы управления движением и навигации (СУДН), обеспечивающих измерение параметров движения КР относительно обслуживаемого объекта (ОО). Несмотря на то, что в качестве таких ИУ могут использоваться приемники глобальных навигационных спутниковых систем, радионавигационное поле на больших высотах является дискретным и не обеспечивает необходимую непрерывность получения координат и скоростей КР и ОО. Применение радиотехнических комплексов самонаведения [3] невозможно если ОО является некооперируемым, т.е. не имеет установленных ответчиков комплекса или является неисправным.

Относительная навигация на основе оптических ИУ является наиболее перспективным способом обеспечения автономности и точности, что подтверждается известными экспериментами по автономному сближению и стыковке с некооперируемым ОО [4]. Выбор состава комплекса ИУ относительной навигации (ОН) КР связан с удовлетворением противоречащих требований по массе, объёму, вычислительным ресурсам устройств, точности и полноте определения вектора относительного положения. К возможным вариантам применимых приборов относятся монокулярные и стереоскопические камеры видимого и ИК диапазонов [5], времяпролётные камеры [6], лазерные дальномеры и лазерные радары (лидары) [7].

Однако, наибольший интерес представляет разработка решений, позволяющих осуществлять ОН минимальным набором ИУ. Такой набор может состоять из монокулярной оптико-электронной системы (ОЭС) для измерения относительных угловых параметров ОО и лазерного дальномера для измерения дальности до ОО. Бортовая обработка полученной с такого комплекса ИУ информации с применением алгоритмов технического зрения обеспечит необходимый уровень автономности решения задачи ОН СУДН [8] при ближнем наведении КР [9]. В работе предложена методика, позволяющая провести расчёт характеристик оптической схемы ОЭС ОН КР.

Основная часть. В работе проведён анализ характеристик ОЭС, применимых для решения задач навигации КР относительно ОО на этапе ближнего наведения. Предложена методика, позволяющая на основе известных сценариев движения КР относительно ОО [9], оптико-геометрической модели ОО [10] и заданных характеристик матричных фотоприемных устройств (МФПУ) (размеры пикселя, размеры матрицы, спектральный диапазон) [10] рассчитать характеристики оптической схемы ОЭС, обеспечивающие:

- обнаружение ОО на дальностях до 30 км;

– наблюдение с разрешением, позволяющим идентифицировать и отслеживать положение отдельных конструктивных элементов ОО и определять параметры ОН с заданной точностью.

В качестве критерия, позволяющего с определенной степенью достоверности принимать решение о возможности выполнения задач ОН с помощью алгоритмов технического зрения на основе изображений, получаемых ОЭС, принят модифицированный критерий Джонсона [11]. Критерий представляет собой зависимость между числом разрешаемых периодов эквивалентной миры, укладываемых на критическом размере характерного элемента ОО, и вероятностью определения относительного положения КР с заданной точностью. Под характерным элементом подразумевается конструктивный элемент ОО, детектируемый алгоритмом A-KAZE [12], как известный кластер ключевых точек на изображении ОО, получаемым ОЭС, под критическим размером – его размер, рассматриваемый в анализе. Кластер ключевых точек считается известным, если в памяти имеется набор дескрипторов, однозначно его описывающих.

Представлены результаты применения методики. В качестве приемного устройства ОЭС выбран радиационно-стойкий МФПУ типа 1205XB014, разработанный АО «НИИ телевидения» [13], в качестве оптико-геометрической модели ОО использована модель КА Intelsat 901. Рассмотрен сценарий компланарного облёта ОО [15].

Выводы. Разработанная методика расчёта характеристик ОЭС ОН сервисных КР может быть использована при обосновании требований к перспективным ОЭС КР, при моделировании сценариев ближнего наведения, а также при создании цифровых двойников. Новизна методики заключается в учёте влияния условий движения КР относительно ОО и особенностей реализации алгоритма ОН на основе детектирования ключевых точек на требования к ОЭС.

Список использованных источников:

1. Системы управления космических аппаратов: учебник / В. В. Ефимов, И. В. Фоминов. – СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2022. – 348 с.
2. Силантьев С., Фоминов И., Королев С. Роботы на орбите //Воздушно-космическая сфера. – 2016. – №. 2 (87). – С. 118-123.
3. Легостаев В. П. и др. Создание и развитие систем управления движением транспортных космических кораблей Союз и Прогресс: опыт эксплуатации, планируемая модернизация //Труды Московского физико-технического института. – 2009. – Т. 1. – №. 3. – С. 4-13.
4. Pyrak M., Anderson J. Performance of Northrop Grumman's mission extension vehicle (MEV) RPO imagers at GEO //Autonomous systems: Sensors, processing and security for ground, air, sea and space vehicles and infrastructure 2022. – SPIE, 2022. – Т. 12115. – С. 64-82.
5. Opromolla R. et al. A review of cooperative and uncooperative spacecraft pose determination techniques for close-proximity operations //Progress in Aerospace Sciences. – 2017. – Т. 93. – С. 53-72.
6. Foix S., Alenya G., Torras C. Lock-in time-of-flight (ToF) cameras: A survey //IEEE Sensors Journal. – 2011. – Т. 11. – №. 9. – С. 1917-1926.
7. McMahon J. W., Gehly S., Axelrad P. Enhancing relative attitude and trajectory estimation for autonomous rendezvous using flash LIDAR //AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference. – 2014. – С. 4359.
8. Калабин П.В. и др. Алгоритм взаимной навигации сервисного космического робота относительно некооперируемого космического аппарата на основе статистической обработки измерительной информации лазерного дальномера и оптико-электронной камеры //Научное наследие и развитие идей К.Э. Циолковского. – 2019. – С. 251-253.
9. Балахонцев В.Г. и др. / Сближение в космосе. // - М.: Воениздат, 1973. - 240 с.

10. Родионов С. А. Основы оптики //СПб: СПб ГИТМО (ТУ). – 2000.
11. Johnson J. Analysis of image forming systems //Selected papers on infrared design. Part I and II. – 1985. – Т. 513. – С. 761.
12. Alcantarilla P. F., Solutions T. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces //IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell. – 2011. – Т. 34. – №. 7. – С. 1281-1298.
13. Умбиталиев А. А. и др. Радиационно-стойкий КМОП фотоприёмник формата 1024x1024 //Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. – 2016. – №. 4. – С. 4-10.
14. Сасункевич А.А. Анализ влияния ошибок формирования начальных относительных параметров движения сервисного космического робота на траекторию пассивного периодического облета некооперируемого космического аппарата // Фоминов И.В., Сасункевич А.А., Труды ВКА имени А.Ф.Можайского, 2019.