



**ОБЗОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ СПУТНИКОВ
ПО ОПТИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ**
AN OVERVIEW OF METHODS FOR SATELLITE DETECTION
FROM OPTICAL OBSERVATIONS

УДК 520.8

DOI 10.24411/2658-3569-2021-10057

Новиков Микаэл Рубенович, студент, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва

Novikov M.R., undergraduate, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: novikov.mikael@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются существующие методы обнаружения искусственных спутников Земли по оптическим наблюдениям. В частности, рассматриваются системы контроля космического пространства, метод Stare and Chase и стереоскопический метод. Приведены описания методов, их основные особенности, их достоинства и недостатки.

Annotation

The article deals with existing methods of detection of artificial satellites from optical observations. In particular, it considers the space control systems, the Stare and Chase method and the stereoscopic method. A description of the methods, their main features, their advantages and disadvantages are given.

Ключевые слова: обнаружение искусственных спутников Земли, контроль космического пространства, оптические наблюдения, слежение за спутниками
Keywords: artificial satellite detection, space control, optical observations, satellite tracking

Введение

В настоящее время космическая промышленность стремительно развивается. В 2020 году было введено в строй 1 253 космических аппарата, что является абсолютным рекордом [1]. Можно предположить, что число выводимых на орбиту искусственных спутников Земли (ИСЗ) с каждым годом будет только расти. Вслед за ростом количества спутников на околоземной орбите можно ожидать рост нагрузки на систему контроля космического пространства. Одними из важнейших задач такой системы, обеспечивающей обороноспособность государства и безопасность эксплуатации гражданских космических аппаратов, является обнаружение, слежение и перехват спутников [2].

Для обнаружения спутников по оптическим наблюдениям применяются системы наземного и космического базирования. В статье будут рассматриваться только системы обнаружения наземного базирования. Задача обнаружения спутника является комплексной, и вместо методов обнаружения, в данном случае, можно говорить о системах обнаружения, включающих телескопы, оснащенные ПЗС-матрицами, вычислительные системы и программное обеспечение. При этом информация о собственно методах обнаружения в большинстве своем является секретной, так как связана с оборонной отраслью. Это не позволяет в полной мере провести анализ существующих методов, например рассмотреть алгоритмы обнаружения спутника на изображении. Рассмотрим некоторые системы электрооптического наблюдения.

Системы контроля космического пространства

Системы контроля космического пространства — это государственные системы, предназначенные для наблюдения за искусственными спутниками Земли и иными объектами на околоземной орбите.

Системы контроля космического пространства разных стран фактически преследуют одни и те же цели и используют схожие методы, поэтому рассмотрим их на примере Наземных электрооптических систем наблюдения в дальнем космосе (GEODSS). Система GEODSS, входящая в состав Сети космического наблюдения США, представляет собой телескопы, используемые для наблюдения за ИСЗ и космическим мусором [3]. GEODSS состоит в общей сложности из девяти пассивных оптико-электронных телескопов видимого диапазона с апертурой 1 м и светосилой $f/2,15$. В основе телескопов лежит конструкция Ричи-Кретьена, которая заменила старую систему из шести полуметровых камер Бейкера-Нанна. Последняя значительная модернизация включала замену в телескопах детектора с вакуумной трубкой Ebsicon на ПЗС-матрицы [4]. Матрица имеет разрешение 2560 на 1960 пикселей, которая в связке с телескопом обеспечивает поле зрения $1,23^\circ$ на $1,61^\circ$.

GEODSS может работать в звездном режиме и в режиме отслеживания цели. В звездном режиме орбитальные космические объекты легко идентифицируются как полосы (треки) на неподвижном фоне. Для получения метрических данных производятся измерения начального и конечного местоположений треков относительно звезд. Это стандартный режим работы для слежения за космическими объектами, такими как ИСЗ. В режиме отслеживания цели телескоп отслеживает небесное тело, которое представлено на изображении точечным объектом. В этом режиме можно обнаружить более слабые объекты. GEODSS регистрирует время, фиксируемое с помощью спутников GPS, и угловые измерения. Для получения зависимости интенсивности от размера конкретного небесного тела вычисляется изменение яркости объекта во времени. На основе данных о размере объекта делается предположение о его природе.

Системы, подобные GEODSS позволяют получить наиболее точные данные о движении объектов на околоземных орбитах, однако не являются мобильными и требуют колоссальных затрат на эксплуатацию и обслуживание.

Stare and Chase

Переходя к обобщенным методам обнаружения, рассмотрим метод Stare and Chase. Stare and Chase (от англ. «пристальный взгляд и погоня») — это композиция методов обнаружения и отслеживания объектов, которая позволяет обнаруживать и вычислять орбиту объекта одновременно [5; 6]. В простейшем случае данный подход использует два датчика. Датчики могут как располагаться в одном месте, так и быть разнесены в пространстве. Система работает в режиме реального времени, и результаты наблюдения обрабатываются сразу же после их сбора для определения начальной орбиты объекта, дальнейшего слежения и уточнения траектории.

Система, состоящая из телескопа и фотоаппарата, работает в режимах:

- наблюдения, в которой система остается неподвижной и ведет наблюдение;
- преследования, в которой система следует за объектом, используя эфемериды (таблицы небесных координат астрономических объектов, вычисленных через равные промежутки времени).

Находясь в режиме наблюдения, система ждет, пока объект не пересечет поле зрения камеры слежения. После этого определяется начальный набор угловых измерений и используется для вычисления начальной орбиты небесного тела. По результатам первоначального определения орбиты генерируется первый набор эфемерид, используемых в режиме преследования. В режиме преследования, система отслеживает цель, используя последние сгенерированные эфемериды, и собирает новые измерения, которые будут использоваться для уточнения орбиты и обновления эфемерид. Для определения является ли объект новым, полученные данные сравниваются с данными в звездных каталогах. Пороговые значения, определяющие, можно ли отслеживать объект с помощью метода Stare and Chase, определяются полем

зрения камеры и ошибкой, допускаемой зеркальной системой для определения, принадлежит ли точка изучаемому объекту.

Исходя из предположения, что орбита объекта круговая, вычисляется начальное приближение. Минимальное количество наблюдений для вычисления круговой орбиты равно четырем, так как необходимо вычислить четыре неизвестных величины: полуось, наклонение, восходящий узел орбиты и время прохождения объекта через Перигей. Процесс уточнения орбиты является итерационным.

Этот подход также может быть реализован с использованием только одного датчика, переходящего из режима Stare в режим Chase и обратно, однако выбор двух или более датчиков предпочтительнее.

Стереоскопический метод

Отдельно необходимо рассмотреть стереоскопический метод наблюдения [7]. В статье, посвященной данному методу, представлено решение для автоматического обнаружения и определения дальности космических объектов в режиме реального времени. Используются две системы, которые располагаются на расстоянии 37 км друг от друга и работают в стереоскопическом режиме. Телескопы направлены на одну и ту же область неба с помощью экваториальных монтировок. Параметры вращения калибруются относительно привязанной к Земле системы отсчета с использованием опорных звезд, извлеченных из каталога. Система работает в режиме слежения за звездами, и ее параметры вращения постоянно обновляются с помощью автоматического сопоставления опорных звезд. Разница между левым и правым изображениями стереопары используется для обнаружения спутников с применением алгоритма вычисления разности, который обеспечивает высокую чувствительность и низкий уровень ложных срабатываний. Спутники, предположительно обнаруженные на левом и правом изображениях, сопоставляются методами эпиполярной геометрии, а трехмерные координаты вычисляются с использованием триангуляции. Такой

подход обеспечивает минимизацию ложных срабатываний, позволяет определить местоположение объекта и вычислить его орбиту.

Цикл обнаружения объектов начинается с получения параметров наблюдаемой области неба. Экваториальные монтировки направляют два телескопа на указанную область, а система поиска опорных звезд извлекает данные о звездах, которые находятся в пределах наблюдаемого поля зрения, для синхронной калибровки вращения. Далее монтировки телескопа программируются на движение, компенсирующее вращение Земли, вследствие чего звезды на заднем плане кажутся неподвижными в момент фотографирования, а также между последовательными кадрами. Затем данные о времени и экспозиции загружаются в компьютер и цикл обнаружения начинается заново. Приемники GPS двух систем наблюдения запускают камеры в некоторый установленный момент времени. В связи с тем, что сигналы GPS принимаются условно одновременно в любой точке Земли, две камеры условно синхронны, и, таким образом, полученная пара изображений может быть преобразована в стереоскопическое изображение.

Использование стереоскопического подхода может позволить увеличить точность вычисления орбиты объекта, однако увеличиваются и накладные расходы, связанные с разнесением оптических систем в пространстве.

Заключение

В результате обзора было установлено, что существующие методы в первую очередь нацелены на повышение точности измерений и, соответственно, точности вычисления орбиты спутника. При этом меньше внимания уделяется скорости работы системы, ее мобильности, стоимости производства, установки, эксплуатации и обслуживания. Стоит отметить, что использование фотоаппаратов без увеличительной аппаратуры может позволить определить первоначальную орбиту объекта. При этом за счет отказа от телескопа такая оптическая система является мобильной и более дешевой. Такая система может работать как в связке с существующими телескопами и радиолокационными комплексами, так и использоваться автономно.

Литература

1. В 2020 году на орбиту вывели 1263 космических аппарата // Российская газета. — 2021. — URL: <https://rg.ru/2021/01/02/v-2020-godu-na-orbitu-vyveli-1263-kosmicheskikh-apparatov.html> (дата обращения 24.02.2021)
2. Гаврилин Е. В. Эпоха «классической» ракетно-космической обороны. — М. : Техносфера, 2008.
3. Faccenda W. J. GEODSS: PAST AND FUTURE IMPROVEMENTS. — 2000.
4. Faccenda W. J. DEEP STARE TECHNICAL ADVANCEMENTS AND STATUS. — 2003.
5. Steindorfer M., Kirchner G., Koidl F. Stare and chase: Optical pointing determination, orbit calculation and satellite laser ranging within a single pass. — 2017.
6. Hasenohr T., Hampf D., Wagner P. INITIAL DETECTION OF LOW EARTH ORBIT OBJECTS THROUGH PASSIVE OPTICAL WIDE ANGLE IMAGING SYSTEMS. — 2016.
7. Danescu R., Ciurte A., Turcu V. A Low Cost Automatic Detection and Ranging System for Space Surveillance in the Medium Earth Orbit Region and Beyond // Sensors. — 2014. — Т. 14.

Literature

1. In 2020, 1263 spacecraft were launched into orbit // Rossiyskaya Gazeta. - 2021. - URL: <https://rg.ru/2021/01/02/v-2020-godu-na-orbitu-vyveli-1263-kosmicheskikh-apparatov.html> (date of treatment 02.24.2021)
2. Gavrilin EV The era of "classical" rocket-space defense. - M.: Technosphere, 2008.
3. Faccenda W. J. GEODSS: PAST AND FUTURE IMPROVEMENTS. - 2000.
4. Faccenda W. J. DEEP STARE TECHNICAL ADVANCEMENTS AND STATUS. - 2003.

5. Steindorfer M., Kirchner G., Koidl F. Stare and chase: Optical pointing determination, orbit calculation and satellite laser ranging within a single pass. - 2017.
6. Hasenohr T., Hampf D., Wagner P. INITIAL DETECTION OF LOW EARTH ORBIT OBJECTS THROUGH PASSIVE OPTICAL WIDE ANGLE IMAGING SYSTEMS. - 2016.
7. Danescu R., Ciurte A., Turcu V. A Low Cost Automatic Detection and Ranging System for Space Surveillance in the Medium Earth Orbit Region and Beyond // Sensors. - 2014 .-- T. 14.