

А. Е. Волков, Н. В. Суетина

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ В СИСТЕМАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

Рассмотрена задача планирования применения бортовых оптико-электронных комплексов наблюдения для аэрокосмического мониторинга Земли. Предложены варианты целевых функционалов задачи планирования, учитывающие потребительскую значимость геопространственной информации и основные факторы, влияющие на информационную производительность средств наблюдения. Даны рекомендации по оптимизации маршрутов космической съемки на основе критерия максимума информационной производительности.

E-mail: aewaew@mail.ru

Ключевые слова: оптико-электронный комплекс, мониторинг, планирование, целевой функционал, информационная производительность.

Увеличение информационных возможностей авиационных и космических оптико-электронных комплексов (ОЭК) наблюдения Земли совпадает с быстрым возрастанием спроса на результаты их применения. Под ОЭК в данном случае понимается совокупность функционально взаимосвязанных бортовых систем, агрегатов и устройств наблюдения летательного аппарата (ЛА) с соответствующим математическим обеспечением, например: цифровые панхроматические и многозональные фотокамеры; тепловизоры; лидары; спектрометры; средства первичной, а возможно, и вторичной обработки данных; радиосистема передачи информации в наземный пункт приема.

Данные авиационного, и особенно космического, мониторинга затребованы многими ведомствами. В связи с этим усложняется процесс планирования применения систем аэрокосмического мониторинга, как долгосрочного, так и оперативного, учитывающего быстрые изменения фоноцелевой обстановки и условий съемки. На лиц, принимающих решения в этом процессе, возлагается все большая ответственность. Интересы потребителей могут не совпадать, что способно порождать конфликты, еще более затрудняющие планирование.

Цель данной работы — сравнение и развитие известных подходов к планированию детальной съемки Земли с учетом значимости раз-

личной геопространственной информации и ограничений на ее получение. Это должно создать основу для выбора рационального варианта плана съемки в соответствии с ее конкретными задачами, с учетом особенностей ЛА — носителя ОЭК, характеристик аппаратуры наблюдения и свойств объектов мониторинга.

Основное внимание уделено задачам объектовой космической съемки с высоким разрешением как наиболее сложным и дорогостоящим. Их решение требует своевременного перенацеливания зоны захвата (мгновенного поля зрения аппаратуры ОЭК наблюдения) на очередной объект мониторинга, возможно, малоразмерный и динамический. К таким объектам, в частности, относятся объекты вооружения и военной техники.

Аппаратура ОЭК наблюдения Земли с высоким разрешением на местности (порядка 0,1 м) не является сканирующей, имеет малое поле зрения (зона захвата для детальной космической съемки порядка 100 км²) [1]. Это существенно затрудняет наведение аппаратуры на конкретные объекты, в частности вследствие ограничений на возможности маневров и разворотов носителя ОЭК, ошибок его навигации. Отметим, что в условиях экономических ограничений проблемным является даже планирование применения ОЭК наблюдения со средним разрешением (10...100 м) с существенно большей зоной захвата [2].

Определяющим критерием качества систем и средств аэрокосмического мониторинга Земли считается их информационная производительность (ИП), формализуемая различными способами. Наиболее простыми вариантами ИП являются ее представления в виде экспонированной площади земной поверхности [3] или в числе пикселей, полученных с ОЭК космического аппарата (КА) наблюдения [1] за определенное время.

Очевидно, что такой подход не учитывает значимость геопространственной информации по конкретным классам объектов для различных потребителей и оперативность ее получения. Поэтому при существенных ограничениях на число и номенклатуру ОЭК (что характерно для РФ) для планирования наблюдений он не пригоден.

Задача планирования наблюдений по критерию максимума ИП космической системы наблюдения (КСН) с учетом приоритетов объектов съемки, видимо, впервые была сформулирована в работе [3]. Предполагались известными N классов объектов, подлежащих мониторингу, и коэффициенты, отражающие приоритет (значимость) информации по объекту каждого из классов, $C_n > 0$, $n = 1, \dots, N$. Эти коэффициенты определяют на основе экспертных оценок или, при воз-

возможности, в экономическом выражении (например, стоимость предотвращенного ущерба при оперативном мониторинге стихийных бедствий). Также известны вероятности получения адекватных данных по объекту каждого из N классов: $P_n, n = 1, \dots, N$.

На основе работы [3] нами получена математическая модель, связывающая обобщенную ИП (выходной эффект) отдельно взятой КСН, возможности технических средств и значимость информации по различным объектам:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{T_a} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} C_n P_{mn}, \quad (1)$$

где \mathcal{E} — выходной эффект данной КСН; T_a — длительность интервала времени (время анализа), на котором анализируется ИП, например время активного существования КА «Комета» или время заполнения оперативного запоминающего устройства ОЭК КА типа «Ресурс-ДК» или «Сич-2» [1, 4]; M_n — число объектов в классе $n = 1, \dots, N$; P_{mn} — вероятность выполнения задач мониторинга m -го объекта из n -го класса за время анализа. Значения P_{mn} отражают возможность съемки с учетом атмосферных условий [5], надежность технических средств, вероятность попадания объекта в зону захвата с учетом погрешностей навигации и ориентации носителя ОЭК, вероятность распознавания объекта по изображению и др. [6, 7].

Если коэффициенты значимости C_n имеют стоимостное выражение, формула (1) может быть модифицирована:

$$\mathcal{E}' = \frac{1}{T_a} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} C_n P_{mn} - Z(T_a), \quad (2)$$

где $Z(T_a) > 0$ — функция, моделирующая затраты на эксплуатацию средств наблюдения, приведенные к интервалу времени анализа T_a .

Функция $Z(T_a)$ позволяет, в частности, учесть расход рабочего тела реактивных двигателей носителя ОЭК в процессе оперативных переориентаций зоны захвата [5]. Это представляется актуальным, так как объекты с высшим приоритетом могут потребовать быстрого наведения посредством двигателей, имеющих ограниченный ресурс, тогда как остальные объекты могут экспонироваться при относительно медленных разворотах КА посредством силовых гироскопов.

Учтем возможность старения информации:

$$\mathcal{E}'' = \frac{1}{T_a} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} C_n P_{mn} S_n(T_n - t) - Z(T_a), \quad (3)$$

где $S_n(Tn - t)$ — функция [5], моделирующая снижение со временем ценности информации по объекту n -го класса; T_n — момент времени появления потребности в съемке объекта класса n ; t — текущее время.

Оптимальный план должен максимизировать значение какого-либо из приведенных выше функционалов путем выбора соответствующего маршрута съемки. Под маршрутом съемки следует понимать пространственно-временную последовательность объектов тех или иных классов в полосе обзора, на которые осуществляются переадресации зоны захвата в ходе движения носителя ОЭК. Задача может быть решена на основе метода динамического программирования или путем перебора и сравнения результатов всевозможных вариантов маршрутов. Оптимальным будет план, предусматривающий маршрут, на котором достигается максимум значения выражений (1), (2) или (3).

Развитием рассмотренного подхода может быть максимизация значений нескольких целевых функционалов ИП для различных витков КА наблюдения. Витки, бесполезные для заказчика мониторинга Западного полушария, могут быть полезными для потребителя информации по территории РФ. Соответственно, окажется целесообразным использование на разных сериях витков целевых функционалов с различными параметрами, учитывающими специфику потребителей данных по соответствующим регионам.

Достоинством рассмотренного варианта планирования является учет основных факторов, влияющих на результативность съемки, вероятным недостатком — субъективность и противоречивость экспертных оценок приоритетов объектов наблюдения ОЭК с высоким разрешением. Снижение влияния этих факторов представляется возможным на основе применения аппарата нечеткой логики. Подобный подход к планированию съемки со средним разрешением предложен в работе [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакланов А. И. Анализ состояния и тенденции развития систем наблюдения высокого и сверхвысокого разрешения // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2010. № 2. С. 80–90.
2. Янчевский С. Л. Оптимизация планирования получения информации от систем дистанционного зондирования Земли среднего разрешения при условии финансовых ограничений. Научные работы ДонНТУ. Сер. Информатика, кибернетика и вычислительная техника. 2011. Вып. 96. С. 43–46.
3. Ханцеверов Ф. Р., Остроухов В. В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли. М.: Машиностроение, 1984. 264 с.
4. Янчевский С. Л. Многокритериальная оптимизация планирования космической съемки на основе геопространственной экспертной информации. Вестник НТУУ «КПІ». Сер. Информатика, управление и вычислительная техника. 2011. № 53. С. 96–105.

5. Соллогуб А. В., Аншаков Г. П., Данилов В. В. Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли: математические модели повышения эффективности КА. М.: Машиностроение, 1993. 368 с.
6. Авдеевский В. С., Успенский Г. Р. Народнохозяйственные и научные космические комплексы. М.: Машиностроение. 1990. 464 с.
7. Волков А. Е. Информационные комплексы космического мониторинга. М.: МО РФ, 1993. 120 с.

Статья поступила в редакцию 28.09.2012.