

Ю. Н. Горелов (Самара, СамГУ). **Об оптимальном сканировании маршрутов съемки на поверхности Земли космическими средствами дистанционного зондирования.**

Реализация интегральных режимов управления угловым движением для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) типа «Ресурс–ДК» [1], [2] требует решения ряда задач, к которым относятся [3]: а) задача оптимального сканирования заданного маршрута съемки с учетом имеющихся технических и физических ограничений; б) синтез программ углового движения КА ДЗЗ на межмаршрутных интервалах, т. е. на интервалах перенацеливания аппаратуры зондирования; в) планирование последовательности сканирования некоторого заданного множества маршрутов съемки, что и определяет в конечном счете структуру интегрального режима управления КА ДЗЗ. Первые задачи взаимосвязаны в силу необходимости согласования их соответствующих граничных условий, а их решение необходимо для последующего решения задачи планирования интегрального сканирования маршрутов съемки [3], что приводит в конечном счете к повышению автономности и эффективности бортового комплекса управления КА ДЗЗ [2], [3]. Из перечисленных выше задач наиболее сложным является синтез законов оптимального сканирования. Для него требуется: а) построение геометрической модели маршрута съемки; б) выполнение необходимых условий сканирования [2], [3]; в) выбор соответствующего критерия качества сканирования маршрута съемки.

Моделью маршрута съемки является некоторая аппроксимация части физической поверхности Земли в пределах полосы сканирования и заданная на ней центральной линия маршрута (ЦЛМ) [2]. Радиус-вектор ЦЛМ $r_M = r_M(s)$ является функцией дуговой координаты s , отсчитываемой вдоль ЦЛМ, и, соответственно, зависимость $s = s(t)$ — закон сканирования ЦЛМ. Радиус-вектор линии визирования (ЛВ) аппаратуры зондирования КА ДЗЗ определяется так: $r_{ЛВ} = r_M - r_{КА}$, где $r_{КА} = r_{КА}(t)$ — радиус-вектор траектории КА ДЗЗ. Качество сканирования заданного маршрута связано с законом $s = s(t)$ — решением дифференциального уравнения $ds/dt = v_M$, $s(t_0) = 0$, где v_M — модуль вектора скорости сканирования, $v_M = v_M dr_M/ds$. Величина v_M определяется необходимыми условиями сканирования маршрута съемки [2], к которым относятся: а) совмещение оси аппаратуры зондирования КА ДЗЗ с ЛВ; б) пропорциональность проекции v_M на фокальную плоскость аппаратуры зондирования скорости w бега изображения ЦЛМ [2], а именно: $v_M = P(t, s)w$, где $w = |w|$, а $P(t, s)$ — некоторая заданная функция, а также ортогональность этой проекции приемной линейке ПЗС [1], [2]. При съемке маршрута в каждый момент времени сканируется элементарная полоска $dP_M(s)$, которая образуется пересечением поверхности Земли с сектором сканирования, нормаль к которому направлена по вектору $r_{ЛВ} \times (v_M \times r_{ЛВ})$. Качество сканирования полоски $dP_M(s)$ определяется отклонениями скоростей бега изображений точек этой полоски от требуемой w и, в конечном счете, его можно определить некоторой функцией $G(t, s, w)$, т. е. качество сканирования всей полосы маршрута съемки выражается интегралом

$$J_0 = \frac{1}{s_f} \int_0^{s_f} G(t, s, w) ds = \frac{1}{s_f} \int_{t_0}^{t_f} G(t, s, w) P(t, s) w dt, \quad (1)$$

где s_f — длина ЦЛМ, t_0 — начальный, а t_f — финальный момент сканирования.

Теперь можно сформулировать следующую вариационную задачу: минимизировать функционал (1) с учетом дифференциальной связи

$$\frac{ds}{dt} = P(t, s)w, \quad s(t_0) = 0, \quad s(t_f) = s_f, \quad (2)$$

и имеющихся ограничений на управляющий параметр:

$$0 < w_{\min} \leq w \leq w_{\max} < \infty. \quad (3)$$

С учетом возможных дополнительных ограничений в задаче (1)–(3) показатель качества сканирования можно заменить на следующий:

$$J_\beta = \frac{1}{s_f} \int_{t_0}^{t_f} [G(t, s, w)P(t, s)w + \beta(w - w^*)^2] dt, \quad (4)$$

где β — весовой коэффициент, а w^* — заданный параметр. При $\beta \rightarrow \infty$ задача (2)–(4) сводится к выбору оптимального параметра w^* с учетом ограничения (2).

Анализ структуры решений сформулированных выше вариационных задач показал возможность синтеза высокоэффективных локально-оптимальных алгоритмов сканирования маршрутов съемки при формировании интегральных программ управления угловым движением КА ДЗЗ типа «Ресурс-ДК».

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 08–08–99116.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соллогуб А. В.* Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли. — В сб.: Математические модели повышения эффективности КА. М.: Машиностроение, 1993, 368 с.
2. *Аншаков Г. П., Горелов Ю. Н., Мантуров А. И., Усталов Ю. М.* Управление угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования. — Общеросс. научно-техн. журнал «Полет», 2006, № 6, с. 12–18.
3. *Горелов Ю. Н.* Интегральные программы управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования Земли. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2008, т. 15, в. 6, с. 1063–1065.