

Ю. Н. Горелов, А. В. Пермяков (Самара, СамГУ). **Параметрическая оптимизация законов сканировании маршрутов съемки космическими средствами дистанционного зондирования.**

В [1] рассмотрена вариационная задача синтеза оптимальных законов сканирования произвольных маршрутов съемки (МС) в режиме «push broom» [2] космическими средствами дистанционного зондирования [2]–[4]. При этом используется следующая модель процесса сканирования. Во-первых, показатель качества сканирования [1]:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} F(t, s, w)w dt, \quad (1)$$

где $F(t, s, w)$ — некоторая функция, характеризующая качество сканирования элементарной полосы МС с дуговой координатой s , отсчитываемой вдоль центральной линии МС от его начала, w — управляющий параметр [1], для которого выполняются следующие ограничения:

$$0 < w_{\min} \leq w \leq w_{\max} < \infty, \quad (2)$$

а t_0 и t_f — моменты времени начала и окончания сканирования МС.

Во-вторых, дифференциальная связь для фазовой переменной s :

$$\frac{ds}{dt} = P(t, s)w, \quad (3)$$

где $P(t, s)$ — некоторая функция, определяемая одним из необходимых условий сканирования [1], и граничные условия для этой связи:

$$s(t_0) = 0 \quad \text{и} \quad s(t_f) = s_f, \quad (4)$$

где s_f — длина сканируемого МС.

Решение $s = s(t; t_0, w(\cdot))$ уравнения (3) с нулевым начальным условием (для заданного t_0) и для некоторого $w = w(t, s) > 0$ — закон сканирования МС, а минимуму функционала (1) отвечает оптимальный закон сканирования.

В прикладных задачах в силу технических ограничений [3], в первую очередь, представляет интерес $w^* = \text{const}$. В этом случае задача (1)–(4) сводится к задаче параметрической оптимизации закона сканирования МС (по параметру w^*), а функционал (1) заменяется целевой функцией

$$J^* = w^* \int_{t_0}^{t_f} T(t, s^*(t, w^*), w^*) dt, \quad (5)$$

где $s = s^*(t, w^*)$ — решение уравнения (3) при $w = w^*$ (и при t_0 — фикс). Так как $w^* > 0$, это решение является строго монотонно возрастающей функцией и, более того, для нее существует обратная функция $t = \sigma(s, w^*)$. Поэтому для заданного $w = w^*$ можно определить не только значения (5), но и момент времени завершения сканирования МС, а именно

$$t_f = t_0 + \frac{1}{w^*} \int_0^{s_f} \frac{ds}{P(\sigma(s; w^*), s)}. \quad (6)$$

В общем случае получаемые значения целевой функции (5) и момента времени t_f (6) и, стало быть, длительности сканирования МС $t_f - t_0$ будут зависеть и от выбора момента времени t_0 , которому отвечает определенное значение угла «тангажного упреждения» КА [3], в соответствие которому можно поставить угол между линией визирования аппаратуры зондирования и касательным ортом к центральной линии

МС в ее начальной точке — α_0 . Наоборот, значению α_0 ($0 < \alpha_{\min}^0 \leq \alpha_0 \leq \alpha_{\max} < \pi$) отвечает некоторый момент времени t_0 , а именно $t_0 = \xi(\alpha_0)$, где функция $\xi(\alpha_0)$ — строго монотонно возрастающая. В конечном счете, имеют место следующие зависимости: $J^* = J^*(w^*, \alpha_0)$; $t_0 = \xi(\alpha_0)$, и задачу параметрической оптимизации закона сканирования заданного МС поэтому можно сформулировать в следующих основных вариантах.

Во-первых, найти минимум целевой функции $J^*(w^*, \alpha_0)$ по параметру w^* при заданном значении α_0 :

$$w_{\text{opt}}^* = \arg \min_{\substack{w_{\min} \leq w \leq w_{\max} \\ \alpha_0 = \text{const}}} J^*(w^*, \alpha_0). \quad (7)$$

Во-вторых, минимизировать целевую функцию $J^*(w^*, \alpha_0)$ по параметрам w^* и α_0 , а именно, следует найти

$$\{w_{\text{opt}}^*, \alpha_{\text{opt}}^0\} = \arg \min_{\substack{w_{\min} \leq w^* \leq w_{\max} \\ \alpha_{\min}^0 \leq \alpha_0 \leq \alpha_{\max}^0}} J^*(w^*, \alpha_0). \quad (8)$$

В общем случае в (1) или (5) моменты времени t_0 , t_f и, соответственно, длительность сканирования МС могут быть стеснены дополнительными ограничениями. Результаты решения задач (7) и (8) показали, что в окрестности точки с w^* , удовлетворяющим ограничениям (2), и $\alpha_0 = \pi/2 \pm \pi/6$ целевая функция (5) является выпуклой. Кроме того, получаемые при этом значения w_{opt}^0 и α_{opt}^0 можно принимать в качестве начального приближения при численном решении вариационной задачи (1)–(4).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горелов Ю. Н. Об оптимальном сканировании маршрутов съемки на поверхности Земли космическими средствами дистанционного зондирования. — *Обозрение прикл. и промышл. матем.*, 2009, т. 16, в. 1, с. 141–142.
2. Горелов Ю. Н. Интегральные программы управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования Земли. — *Обозрение прикл. и промышл. матем.*, 2008, т. 15, в. 3, с. 1063–1065.
3. Бакланов А. И. Системы наблюдения и мониторинга. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009, 234 с.
4. Аншаков Г. П., Горелов Ю. Н., Мантуров А. И., Усталов Ю. М. Управление угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования. — *Полет*, 2006, № 6, с. 12–18.