

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЛАНОВ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

С. Б. Данилов

Самарский государственный университет,
danilovsb_2012@mail.ru

Моделирование интегральных программ управления угловым движением космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) тесно связано с формированием планов наблюдения в виде последовательностей сканируемых маршрутов съемки в полосе обзора КА на многовитковых интервалах полета [1 – 5]. Синтез интегральной программы управления тесно связан не только с оптимальным управлением сканированием маршрутов съемки в районах зондирования [6] и, соответственно, с перенацеливанием аппаратуры зондирования КА ДЗЗ [7], но и с оптимизацией формируемых для него планов наблюдения [3, 5]. В [3 – 5] для оптимизации таких планов предлагалось применять схемы динамического программирования [8]. В связи с этим в качестве показателей оптимальности планов наблюдения необходимо использовать аддитивные функции следующего вида:

$$Q = \sum_{k=1}^{K_M} \beta_k q(\tau_k, p_k, U_k), \quad (1)$$

где K_M – количество потенциальных маршрутов съемки на заданном интервале наблюдения; β_k – признак включения k -го маршрута съемки в план наблюдения ($\beta_k = 0,1$); $q(\tau_k, p_k, U_k)$ – функция «цены» k -го маршрута съемки с длительностью τ_k , приоритетом p_k и некоторыми иными условиями наблюдения U_k [3, 9].

С учетом предъявляемых к оптимальным планам наблюдения требований функция «цены» маршрута съемки в (1) можно конкретизировать так:

$$q(\tau, p, U) = C_{\text{кол}}(\tau) \cdot C_{\text{кач}}(U) \cdot C_{\text{пр}}(p), \quad (2)$$

где $C_{\text{кол}}(\tau)$, $C_{\text{кач}}(U)$, $C_{\text{пр}}(p)$ – показатели, учитывающие зависимость «цены», соответственно, от заданных требований к производительности КА ДЗЗ и к качеству сканирования, а также в зависимости от назначаемых приоритетов маршрутов съемки.

Для $C_{\text{кол}}(\tau)$ в (2), учитывающего связь между «ценами» $q(\tau_k, p_k, U_k)$ и показателями производительности КА ДЗЗ [3], представляется вполне естественным использовать функцию $C_{\text{кол}}(\tau) = 1 + \xi_\tau(\tau - 1)$, где ξ_τ – весовой коэффициент, $0 \leq \xi_\tau \leq 1$; в случае $\xi_\tau = 0$ максимизируется число сканируемых маршрутов съемки, а при $\xi_\tau = 1$ – суммарная длительность их сканирования. Промежуточные значения ξ_τ обеспечивают компромисс между указанными показателями производительности КА ДЗЗ.

Введение приоритетов обеспечивается в (2) с помощью показателя $C_{\text{пр}}(p) = \eta^{p-1}$, где $\eta \geq 1$ – параметр (равный относительному повышению «цены» маршрута съемки при увеличении его приоритета на единицу). Если $\eta = 1$, то приоритеты не учитываются. Для $C_{\text{кач}}(U)$, учитывающего качество съемки, предлагается использовать функционал [6]

$$C_{\text{кач}}(U) = \left(\frac{1}{s_f} \int_0^{s_f} G(s, U) ds \right)^\mu, \quad (3)$$

где s – текущая дуговая координата центральной линии маршрута съемки; s_f – ее длина; $G(s, U)$ – функция ($0 \leq G(s, U) \leq 1$), характеризующая качество сканирования элементарной полосы $dP_M(s)$, образованной пересечением поверхности Земли с сектором сканирования [3, 6]. Отметим, что максимальная оценка качества сканирования $C_{\text{кач}}(U) = 1$ достигается при съемке в наadir, поскольку в этом случае не только обеспечивается максимальное возможное линейное разрешение на местности, но и минимизируются т.н. «смазы» изображения. Задаваемый параметр $\mu \geq 0$ позволяет регулировать влияние оценки качества съемки на «цену» МС.

Таким образом, предлагаемый подход к заданию критерия оптимальности синтезируемых планов наблюдения обеспечивает не только возможность учета показателей производительности КА ДЗЗ, но качества сканирования с учетом приоритетов маршрутов при формировании таких планов зондирования, а также применять при моделировании планов наблюдения и интегральных программ управления угловым движением КА ДЗЗ гибкие механизмы регулирования степени влияния каждого фактора на значение показателя оптимальности синтезируемого плана наблюдения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 13-08-97019 р_поволжье_a.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аншаков Г.П., Мантуров А.И., Усталов Ю.М., Горелов Ю.Н., Горелова О.И., Данилов С.Б. Моделирование программ управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования при сканировании набегающего потока районов наблюдения // Сб. тр. XII С.-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. СПб, 2005. С. 58-64.
2. Горелов Ю.Н. Интегральные программы управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования Земли // Обзорение прикладной и промышленной математики, 2008, т.15, в.3. С.1063 – 1065.
3. Горелов Ю.Н., Данилов С.Б., Аншаков Г.П., Мантуров А.И., Усталов Ю.М. Теоретические основы и методы синтеза интегральных программ управления угловым движением космических аппаратов дистанционного зондирования множества районов наблюдения переменного состава на длительных временных интервалах // Сб. тр. XVI С.-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. СПб, 2009. С. 232-244.
4. Горелов Ю.Н., Горелова О.И., Данилов С.Б. Формирование оптимальных планов сканирования для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Обзорение прикладной и промышленной математики, 2009, т.16, в.2. С.310 – 312.
5. Горелов Ю.Н., Курганская Л.В., Морозова М.В., Данилов С.Б. Оптимальное планирование процессов дистанционного зондирования Земли из космоса // Сб. тр. XIX С.-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. СПб, 2012. С. 252-258.
6. Горелов Ю.Н., Данилов С.Б., Мантуров А.И., Пермяков А.В. Оптимальное управление сканированием маршрутов съемки для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Общесос. научно-техн. журнал «Полет», № 11, 2009. С.49-55.
7. Горелов Ю.Н., Морозова М.В. Оптимальное по минимуму расходов управление тройным интегратором // Вестник Самар. гос. ун-та. Естественнонаучная серия, 2012, № 9 (100). С.118-129.
8. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1974. 528 с.
9. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.