

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОЖНОГО МАРШРУТА СЪЁМКИ ПО ЗАДАНЫМ КИНЕМАТИЧЕСКИМ ОГРАНИЧЕНИЯМ

Исследование земной поверхности из космоса с помощью космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) имеет большое практическое значение. Эффективность дистанционного зондирования во многом определяется возможностью реализации различных видов съёмки.

Для задания участка земной поверхности, подлежащего наблюдению – маршрута съёмки, необходимо учитывать его геометрические характеристики, так как они определяют параметры программы управления угловым движением КА в процессе зондирования [1].

Пусть сложный маршрут задается следующей совокупностью параметров, которая включает в себя геометрические характеристики центральной линии маршрута

$$\{\{\varphi = \varphi(p), \lambda = \lambda(p)\}, L\} \quad (1)$$

и условия зондирования

$$\{\alpha_{\text{зах}}, \Delta H, (W_{\text{хп}}/D)_{\text{зад}}, \vartheta_H\}, \quad (2)$$

где $\{\varphi = \varphi(p), \lambda = \lambda(p)\}$ – уравнения центральной линии маршрута (ЦЛМ), p – действительный параметр, L – длина центральной линии маршрута, $\alpha_{\text{зах}}$ – угол захвата определяющий ширину маршрута, ΔH – среднее на маршруте превышение над общим земным эллипсоидом, $(W_{\text{хп}}/D)_{\text{зад}}$ – параметр, определяющий требуемую скорость без изображения для центральной линии маршрута, ϑ_H – заданный угол тангажа на начало наблюдения маршрута [2].

Функции $\varphi = \varphi(p)$, $\lambda = \lambda(p)$ должны быть непрерывно дифференцируемы третьей производной, чтобы обеспечить непрерывность параметров программы управления угловым движением на интервале наблюдения маршрута.

Исходной информацией для формирования участка съёмки являются заданные точки на земной поверхности $\{\varphi_i, \lambda_i\}$, $i = \overline{1, n}$, в окрестностях которых должна проходить центральная линия маршрута, таким образом, чтобы точки $\{\varphi_i, \lambda_i\}$ оказались внутри полосы захвата аппаратуры зондирования.

Пусть функции $\varphi(p)$, $\lambda(p)$ описываются полиномами k -ой степени ($k = \overline{2, 5}$), значения параметра p в заданных точках $\{\varphi_i, \lambda_i\}$ пропорциональны расстоянию меж-

этими точками (рис. 1, 2)

$$\begin{aligned} \varphi(p) &= a_0 + a_1 p + \dots + a_k p^k, \\ \lambda(p) &= c_0 + c_1 p + \dots + c_k p^k. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты полиномов (2) рассчитываются методом наименьших квадратов по заданным координатам точек наблюдения [2].



Рис. 1. ЦЛМ задана в виде полинома 3-ей степени

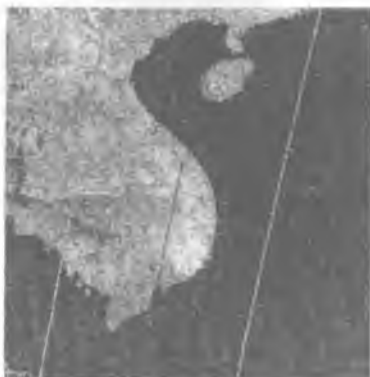


Рис. 2. ЦЛМ задана в виде полинома 4-ой степени

Под программой управления угловым движением (ПУУД) КА для съёмки заданного маршрута (1) понимаются зависимости углов ориентации программной системы координат (ПСК) $Ox_{II} Y_{II} Z_{II}$ относительно орбитальной системы координат (ОСК) $Ox_0 Y_0 Z_0$ от времени, однозначно определяющие ориентацию космического аппарата. Построение программной системы координат описано в [3]. ОСК определена в соответствии с [4].

При формировании программы управления угловым движением КА на интервале наблюдения маршрута должны выполняться следующие условия:

- 1) движение точки пересечения центральной линии визирования с земной поверхностью по центральной линии маршрута;
- 2) постоянство значений поперечной и продольной составляющих скорости сдвига изображения для центральной линии визирования на интервале наблюдения маршрута

$$W_{ZII}/D=0, \quad W_{XII}/D=(W_{XII}/D)_{плд}=\text{const}, \quad (3)$$

где W_{ZII} – проекция вектора W на ось программной системы координат OZ_{II} ;

угол конуса обзора β не должен превышать допустимого значения:

$$\beta(t) = \arccos(\cos \vartheta \cdot \cos \gamma). \quad \beta(t) \leq \beta_{\text{доп}}, \quad (4)$$

где угол β – угол между осью OY_{Π} ПСК и радиусом-вектором центра масс КА $r(t)$;
 4) значения абсолютной угловой скорости $|\omega(t)|$ и ускорения $|\varepsilon(t)|$ КА должны принадлежать определённому диапазону:

$$|\omega(t)| \leq \omega_{\text{доп}}, \quad |\varepsilon(t)| \leq \varepsilon_{\text{доп}}. \quad (5)$$

Для заданного маршрута требуется определить диапазон характеристик маршрута: параметра бега изображения и начального угла тангажа, для которых выполняются условия зондирования (3)–(5).

Выполнение условия (4) обеспечивается выбором значения угла тангажа в начало наблюдения $\vartheta_{\text{н}}$ и параметра бега изображения $(W_{\text{ХП}}/D)_{\text{зад}}$, который определяет скорость изменения угла тангажа на интервале наблюдения маршрута. По начальному углу тангажа рассчитывается минимальное значение параметра бега изображения для съёмки маршрута, при котором выполняется условие (4). Минимально возможное значение параметра бега изображения зависит от соотношения протяженности маршрута и длины проекции ЦЛМ на трассу КА. Вектор кривизны в текущей расчётной точке определяет положение вектора направления сканирования в следующей точке, и следовательно, угловую скорость и ускорение КА.

При формировании ПУУД на маршруте определяются вектора угловой скорости и ускорения вращения ПСК относительно ГСК из условий (1), (2), которые используются для проверки ограничений (5).

Съёмка сложного маршрута – многопараметрическая задача, решение которой существует в области допустимых значений параметра бега изображения в зависимости от угла тангажа на начало наблюдения, которая определяется заданным диапазоном этих характеристик и двумя граничными линиями. Первая линия – это график изменения минимального значения $(W_{\text{ХП}}/D)_{\text{мин}}$ в зависимости от начального угла тангажа $\vartheta_{\text{н}}$. Максимальные значения параметра бега изображения $(W_{\text{ХП}}/D)_{\text{макс}}$, для которых выполняются условия (5), формируют вторую граничную линию. На рис. 3 представлен пример области допустимых значений параметра бега изображения в зависимости от начального угла тангажа для маршрута, заданного полиномом четвёртой степени, при $\omega_{\text{доп}} = 2$ град/с, $\varepsilon_{\text{доп}} = 0,15$ град/с², $\beta_{\text{доп}} = 45^\circ$. Высота околокруговой орбиты составляет 480 км, протяжённость ЦЛМ – 1221 км.

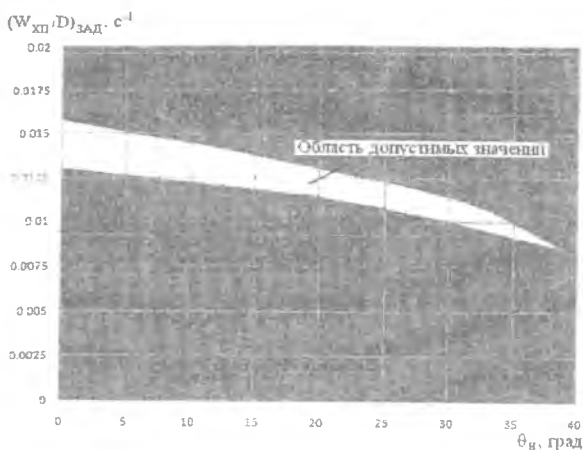


Рис.3. Область допустимых значений параметра бега изображения в зависимости от начального угла тангажа при заданных кинематических ограничениях

При выборе характеристик сложного маршрута необходимо учитывать его протяжённость, положение относительно трассы КА и максимальное значение кривизны ЦПМ. Решением поставленной задачи является область допустимых значений параметра бега изображения в зависимости от начального угла тангажа в рамках заданного диапазона изменения исходных данных.

Библиографический список

1. Аншаков, Г.П. Управление угловым движением КА ДЗЗ [Текст]/ Г. П. Аншаков, А.И. Мантуров, Ю.М. Усталов, Ю.И. Горелов// Полет – 2006. - №6. – С. 12-18.
2. Галкина, А.С. К вопросу синтеза программы управления угловым движением космического аппарата для съёмки маршрута с переменным азимутом [Текст]/ А.С. Галкина, В.Е. Юрин// Управление движением и навигация летательных аппаратов. Сборник научных трудов. – Самара – 2007. – С. 112-115.
3. Аншаков, Г.П. Интегрированная система управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования Земли [Текст]/ Г.П. Аншаков, Ю.Г. Антонов, А.И. Мантуров, Ю.М. Усталов// IX Санкт-петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – Санкт-Петербург – 2002. – С. 77-85.
4. Нариманов, Г.С. Основы теории полёта космических аппаратов [Текст]/ Г.С. Нариманов. – М.: Машиностроение, 1972. – 601 с.