

точностных характеристик навигационных определений КА при использовании специализированных спутниковых систем // Вопросы проектирования летательных аппаратов. - М.: ИИЕТ АН СССР, 1987. - С. 128-136.

2. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности /С.А.Айвазян, В.М.Бухштабер, И.С.Енюков и др.; Под ред. С.А.Айвазяна. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 607 с.

УДК 528.854:629.78

Э.И.Дружинин, В.А.Шелехов, М.В.Голушко

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА УГЛОВЫХ ДВИЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ СЪЕМКЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

На качество видеoinформации, получаемой посредством оптико-электронных систем установленных на космических аппаратах (КА), существенное влияние оказывает перемещение изображения относительно фотоприемной структуры, обусловленное движением КА относительно подстилающей поверхности /1,2/. Так в случае применения в космических оптико-электронных системах матричных формирователей видеосигналов на приборах с зарядовой связью (ПЗС), функционирующих в режиме временной задержки и накопления, достаточно высокое качество видеoinформации можно получить только обеспечив совпадение скорости движения изображения относительно фотоприемной структуры со средней скоростью движения зарядовых пакетов /3/.

При заданном орбитальном движении КА организовать близкое к требуемому движение изображения относительно фотоприемной структуры можно за счет углового движения КА, либо за счет движения оптической системы или ее элементов относительно борта КА.

В предлагаемой работе приводятся результаты разработки методики, алгоритма и программного обеспечения для расчета программных угловых движений КА, снабженного оптико-электронной системой для съемки поверхности Земли. Оптико-электронная система представляет длиннофокусный двухзеркальный телескоп с формирователем видеосигналов в виде

матрицы ПЗС, функционирующей в режиме временной задержки и накопления.

Современные сканеры на ПЗС обеспечивают достаточно высокое разрешение, но имеют небольшое поле зрения. Скомпенсировать указанный недостаток, одновременно повысив оперативность наблюдения, можно путем съемки со значительными углами отклонения оптической оси съемочного устройства от вертикали. Но последнее обстоятельство приводит к необходимости решать задачу расчета программных движений КА в достаточно общей постановке.

Методика и алгоритм расчета программных угловых движений КА получены в следующих предположениях: поверхность Земли представляет собой эллипсоид, вращающийся вокруг оси мира со скоростью суточного вращения; центр масс КА движется по известной орбите; изображение, формируемое оптической системой в плоскости фотоприемной структуры, представляет центральную проекцию; центр проектирования оптической системы совпадает с центром масс КА.

Методика расчета основана на представлении углового движения КА в инерциальной геоцентрической системе в виде сложного, поэтому наряду с системой координат $CXYZ$, связанной с оптической системой, (точка C – центр проектирования, CX – направлена вдоль оптической оси, CZ – параллельна строкам матрицы ПЗС) вводится промежуточная система координат $CX_eY_eZ_e$ (ось CZ_e совпадает с CZ). Переносная составляющая (движение системы $CX_eY_eZ_e$) используется для компенсации перемещения относительно фокальной плоскости центральной проекции S_k^* на нее некоторого вектора \bar{S}_k , касающегося земного эллипсоида в точке M_k .

В отличие от известных подходов /4/ компенсирующая составляющая программного движения находится из простых условий:

$$I_1(t) \times R_k(t) = 0$$

$$I_2(t) \times [I_1(t) \times S(t)] = 0$$

где $R_k = \overline{CM_k}$, а I_1, I_2 – орты осей CX_e, CY_e , соответственно.

Относительная составляющая движения оптической системы (движение системы координат $CXYZ$ относительно $CX_eY_eZ_e$) представляет вращение вокруг оси CZ_e и используется для организации движения проекции S_k' относительно фокальной плоскости со скоростью, равной средней скорости

переноса зарядовых пакетов.

На основе полученной методики был разработан быстродействующий алгоритм расчета программных угловых движений КА применимый для случая сканирования с большими отклонениями оптической оси от местной вертикали. Исходными данными для алгоритма являются: момент времени начала сканирования t_0 ; момент времени окончания сканирования T ; геоцентрическая долгота и широта точки начала сканирования; азимут направления сканирования в момент начала съемки; среднее превышение района съемки над уровнем поверхностью; угол поворота Земли в суточном вращении на момент начала сканирования; параметры орбиты КА;

Параметрами алгоритма являются: число строк в матрице ПЭС (число шагов накопления) N ; линейные размеры элемента матрицы ПЭС; эквивалентное фокусное расстояние оптической системы; время накопления заряда элементом матрицы ПЭС t_g .

Алгоритм позволяет вычислять программное угловое движение КА на интервале времени сканирования $[t_0, T]$ с заданным шагом по времени в двух вариантах:

- 1) В виде функций времени задающих изменение параметров ориентации КА в инерциальной системе координат.
- 2) В виде значений параметров ориентации, определяющих положение КА в момент начала сканирования и функций времени, задающих изменение проекций вектора абсолютной угловой скорости КА.

Вычисление программного движения производится последовательно на интервалах времени $[t_k, t_{k+1}]$, $t_{k+1} = t_k + N t_g$, $k=0, 1, 2, 3, \dots$. Точка M_0 и вектор S_0 определяются геоцентрическими координатами точки начала сканирования и азимутом направления сканирования в момент t_0 . Положение точки M_k и вектора S_k при значениях $k=1, 2, 3, \dots$ вычисляются исходя из программного движения КА найденного для предыдущего интервала времени $[t_{k-1}, t_k]$.

Разработанный алгоритм расчета угловых движений КА реализован в виде программы на языке Паскаль 5.0 для ПЭВМ типа IBM XT/AT и операционной среды MS-DOS 3.0. Проведена серия численных экспериментов на ЭВМ в процессе которых, применительно к конкретным системам вычислялись угловые движения для различных условий съемки. Для оценки качества программных движений предусмотрена возможность вычислять отклонения траекторий движения точек изображения объекта наблюдения по фотоприемной структуре от траекторий, соответствующих идеальным ус-

ловиям функционирования фотоприемного устройства .

В силу компактности и быстродействия алгоритм может быть использован в бортовой ЦВМ КА для расчета программных угловых движений КА в реальном времени, а также в процессе проектирования для оценки ограничений на орбитальное и угловое движение КА, вытекающих из принципа функционирования оптико-электронной системы.

Список литературы

1. Шелехов В.А. Метод расчета программного углового движения аппаратуры для дистанционного зондирования земной поверхности //Динамика управляемых космических объектов. - ИрВЦ СО АН СССР, 1987.- С.22-32.
2. Батраков А.С. Общая модель для расчета и анализа сдвига оптического изображения при съемке земной поверхности //Исследование Земли из космоса.- 1989, N 4.- С. 99-106.
3. Автоматическая стабилизация оптического изображения /Д.Н.Еськов, Ю.П.Ларионов, В.А.Новиков и др. Под общ. ред. Д.Н. Еськова, В.А.Новикова. - Л.:Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988.- 240 с.
4. Родионов Б.Н. Динамическая фотограмметрия.- М.: Недра, 1983.- 311 с.