

Белов Ю.В.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗВЕЗДНОГО АППАРАТА ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НАБЛЮДЕНИЯ

Рассматриваемая математическая модель функционирования звездного аппарата (ЗА) предназначена для расчета измеренных координат изображения звезды, находящейся в его поле зрения. Данная математическая модель не использует каталог звезд в инерциальной (абсолютной геоцентрической) системе координат (ИСК), поскольку не имитирует процесс идентификации рабочих астроориентиров. Для имитации попадания звезды в поле зрения ЗА в модели производится расчет координат звезды в ИСК $R1_{иск} (R2_{иск})$ на основании текущей информации об ориентации ССК - правой ортогональной связанной системы координат, оси которой совпадают с оптическими осями целевой аппаратуры (ЦА), относительно ИСК и предполагаемой точки входа звезды в поле обзора. После этого значение $R1_{иск} (R2_{иск})$ сохраняется постоянным на протяжении всего интервала времени нахождения звезды в поле обзора соответствующего ЗА. В это время $R1_{иск} (R2_{иск})$ используются для расчета программных координат звезды в алгоритме расчета программной информации [1], а также для расчета измеренных координат звезды.

После выхода этой звезды из поля обзора ЗА начинается счет времени отсутствия звезды, которое сравнивается с константой $T_{допбездз}$. Когда длительность работы без звезды совпадает с константой, происходит перевыставка звезды, то есть рассчитывается новое значение $R1_{иск} (R2_{иск})$. При этом предполагается, что звезда находится в заданной точке поля обзора ЗА1 (ЗА2).

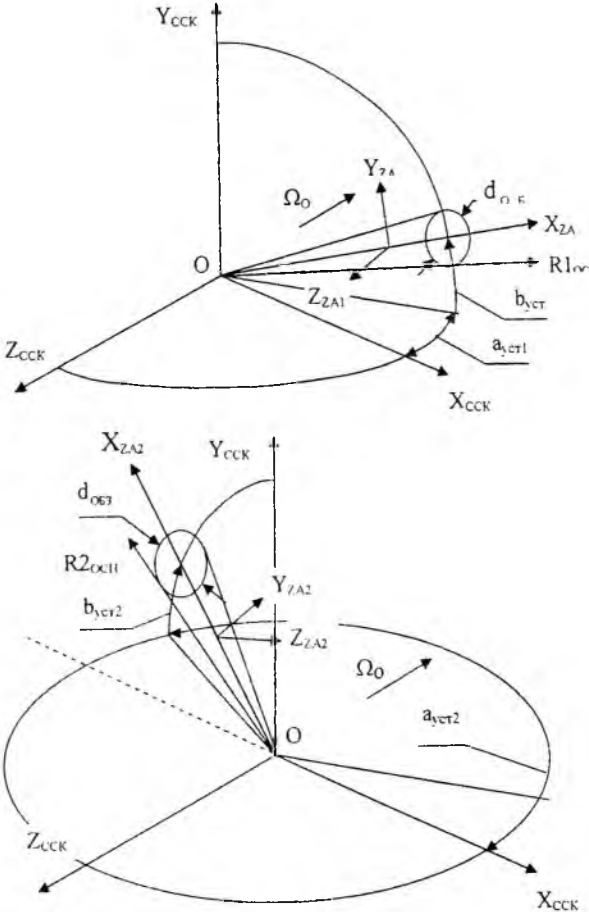
Первый раз выставка звезды, то есть расчет $R1_{иск} (R2_{иск})$, происходит на первом такте $n=1$. Длительность нахождения звезды в поле обзора ЗА зависит от диаметра поля обзора и углового движения КА.

Разовая часть алгоритма выполняется при $n=1$. При этом необходимо провести следующие операции.

1. Рассчитать матрицы направляющих косинусов осей ЗА в ССК:

$$A_{ZAi\text{ССК}} = \begin{pmatrix} \cos b_{ycm} \cdot \cos a_{ycm} & \sin b_{ycm} & -\cos b_{ycm} \cdot \sin a_{ycm} \\ -\sin b_{ycm} \cdot \cos a_{ycm} & \cos b_{ycm} & \sin b_{ycm} \cdot \sin a_{ycm} \\ \sin a_{ycm} & 0 & \cos a_{ycm} \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2;$$

где a_{ycm1}, b_{ycm1} - углы установки ЗА1 (ЗА2) (рис 1).



Ω_O – вектор орбитальной угловой скорости КА

Рис. 1

2. Рассчитать направляющие косинусы векторов, находящихся на краях полей зрения ЗА1 (ЗА2) в зоне входа в них звезд при орбитальном вращении КА, в ССК (находятся на краю поля обзора и в центре области вхождения звезд в поле обзора):

$$R_{i_{OCH}} = \begin{pmatrix} \cos(b_{v_{cm}} - 0,5d_{ob}) \cdot \cos a_{v_{cm}} \\ \sin(b_{v_{cm}} - 0,5d_{ob}) \\ -\cos(b_{v_{cm}} - 0,5d_{ob}) \cdot \sin a_{v_{cm}} \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2;$$

где $d_{об} = 1 \dots 5$ град - диаметр поля обзора ЗА.

3. Задать $T_{беззв} := T_{допбеззв} = 0 \dots 180$ с - допустимое время отсутствия звезды в поле обзора ЗА (задает интервал времени между участками наличия звезды в поле обзора ЗА)

На каждом такте ($n \geq 1$) необходимо выполнить следующее.

1. Рассчитать матрицы направляющих косинусов осей ССК в ИСК на конец такта момент измерений:

$$A_{CCIK} = \begin{pmatrix} l_0^2 + l_1^2 - l_2^2 - l_3^2 & 2(l_1l_2 + l_0l_3) & 2(l_1l_3 - l_0l_2) \\ 2(l_1l_2 - l_0l_3) & l_0^2 + l_2^2 - l_1^2 - l_3^2 & 2(l_2l_3 + l_0l_1) \\ 2(l_1l_3 + l_0l_2) & 2(l_2l_3 - l_0l_1) & l_0^2 + l_3^2 - l_1^2 - l_2^2 \end{pmatrix},$$

где $L = (l_0, l_1, l_2, l_3)$ - кватернион истинной ориентации ССК относительно ИСК.

2. При $T_{беззв} \geq T_{допбеззв}$ перевыставить звезду (это обязательное действие при $n=1$).

для чего:

$$R_{IC} = [A_{CCIK}]^T \cdot [A_{ZAC}]^T \cdot A_{WR} \cdot [A_{ZAC}] \cdot R_{OCH},$$

где $A_{WR} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos WR & \sin WR \\ 0 & -\sin WR & \cos WR \end{pmatrix}$ - матрица для имитации различных точек входа звезд в

поле обзора,

WR - случайная величина с диапазоном значений ± 30 град, изменяемая случайным образом в момент перевыставки звезды,

- присвоить $I_{ZA} := 0, T_{беззв} := 0$, рассчитать $T_{беззв}, I_{ZA} = \{1, 0\}$ - признак информативности (наличия звезды),

- аналогично при $T_{беззв2} \geq T_{допбеззв}$ рассчитать $R_{2IC}, I_{ZA}, T_{беззв2}$.

3. Определить направляющие косинусы ориентиров в приборных осях ЗА:

$$Ri_{zA} = \begin{pmatrix} Ri_z [1] \\ Ri_z [2] \\ Ri_z [3] \end{pmatrix} = [A_{zAc}]_K \cdot [A_{cCiM}]_K \cdot Ri_{иc}, \quad i = 1, 2;$$

где $[1], [2], [3]$ - орты осей $Ox_{zA}, Oy_{zA}, Oz_{zA}$.

4 Если ориентир находится в поле обзора, то есть $Ri_z [1] > \cos 0,5d_{об}$, $i = 1, 2$, то:

- провести расчет измеренных угловых координат звезд в поле обзора ЗА1 (ЗА2):

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{g^i} &= \arcsin \left\{ Ri_z [2] + Vi_{\alpha} \right\}, \\ \beta_{g^i} &= -\arcsin \left\{ Ri_z [3] + Vi_{\beta} \right\}, \end{aligned} \right\} \quad i = 1, 2;$$

где Vi_{α}, Vi_{β} - случайные функции, имитирующие погрешности измерений ЗА с учетом погрешностей системы фиксации положения осей ЗА относительно оптических осей ЦА, моделируются генератором случайных функций, формирующим функцию белого шума с заданной дисперсией,

- рассчитать измеренные направляющие косинусы звезды, находящейся в поле обзора ЗА1 (ЗА2), в его приборных осях:

$$RD_{zA} = \begin{pmatrix} \sqrt{1 - (\sin \alpha_{g^i})^2 - (\sin \beta_{g^i})^2} \\ \sin \alpha_{g^i} \\ -\sin \beta_{g^i} \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2;$$

сформировать $I_{zA} = 1, T_{гсзв i} = 0$, иначе (если ориентир вне поля зрения):

$$I_{zA} = 0; T_{гсзв i} = T_{гсзв i} + T, \text{ где } T - \text{ такт работы алгоритма}$$

В дальнейшем измеренные направляющие косинусы звезды пересчитываются в оси ССК

$$RD_{\lambda} = [A_{\lambda c c}]_K \cdot RD_{zA}, \quad i = 1, 2,$$

для расчета углового рассогласования ε^n между измеренным и программным положениями ее по измерениям ЗА и программной информации по формуле:

$$\varepsilon^n = \varepsilon_1 + RP1[(\varepsilon_2, RP1) + \alpha_{12}(\varepsilon_1, RP2)] / (1 - \alpha_{12})^2,$$

где $\alpha_{12} = (RP1, RP2)$; $\varepsilon_1 = RD1 \times RP1$; $\varepsilon_2 = RD2 \times RP2$,

$RP1(RP2)$ - программные координаты звезд в осях ССК.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов Ю.В., Боровков В.А., Шалымов С.В. Минимизация массо-энергетических показателей бортовых систем КА зондирования поверхности Земли.//Сб. трудов IX Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов, Самара, 1999, ч.1, с. 43-46.