

УДК 629.78

**ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НАВИГАЦИИ НАНОСПУТНИКА
ПО СИГНАЛАМ ГНСС**

Трухтанова М. А., Крамлих А. В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

В настоящее время для определения точного местоположения и скорости спутника и прогнозирования его движения используют двухстрочный набор элементов (TLE) [1].

В связи с увеличением количества запускаемых наноспутников, требования к задаче определения навигации повышаются. Необходим способ, позволяющий с большой оперативностью и точностью решать задачи навигации.

Цель настоящей работы состоит в создании программно-алгоритмического обеспечения решения задачи навигации наноспутника по сигналам глобальной навигационной спутниковой системы.

Алгоритм основан на принципе измерения псевдодальности. Под псевдодальностью понимают меру расстояния между навигационным спутником и приёмником, отнесенного ко времени изменения спутником сигнала и моментом приёма этого радиосигнала приёмником.

Опишем алгоритм определения координат при помощи измерений $\{Z_p^{(i)} = ct_{tr}^{(i)}, (i = \overline{1, M})$ псевдодальностей объект-спутники.

Начнём с компенсации погрешностей в кодовых псевдодальностях:

$$\tilde{Z}_p^{(m)} = Z_p^{(i)} + c\Delta T - p_{ion}^{(i)} - p_{trop}^{(i)}, \quad (1)$$

где $\{Z_p^{(i)}\}$ – набор измерений псевдодальностей; $i = \overline{1, M}$, M – число видимых спутников; $\{\eta_j^{sati}\}$ – база данных гринвичских координат, полученная из уравнений Кеплера; $\eta_j^{crv'}$ – априорные гринвичские координаты объекта; $\Delta T^{(i)}$ – база данных погрешностей часов; $p_{ion}^{(i)}, p_{trop}^{(i)}$ – базы данных для моделируемых погрешностей ионосферы и тропосферы.

Совокупная модель измерения имеет вид:

$$\tilde{Z}_p^{(m)} = p^{(m)} + p_{\Delta\tau} + p_m^s, \quad m = \overline{1, M}. \quad (2)$$

Истинное расстояние между приёмником и спутником ($p^{(i)}$) найдем по формуле:

$$p^{(i)} = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (\eta_j^{sati} - \eta_j^{crv'})^2}. \quad (3)$$

Линеаризуем уравнения измерений в окрестности опорного решения ($\eta^{rcv'}$) с искомой ошибкой местоположения ($\Delta\eta$):

$$\eta^{rcv'} = \eta^{crv'} + \Delta\eta. \quad (4)$$

Сформируем измерения $z_p^{(i)}$:

$$z_p^{(i)} = \tilde{z}_p^{(i)} - p_{calc}^{(i)} \stackrel{def}{=} h^T(i) x + \Delta p_i^s,$$

$$p_{calc}^{(i)} = \sqrt{\sum_{j=1}^3 (\eta_j^{sat_i} - \eta_j^{rcv'})^2}, \quad (5)$$

где x – вектор оцениваемых параметров, $x = (\Delta\eta_1, \Delta\eta_2, \Delta\eta_3, p\Delta\tau)^T$, $h^T(i)$ – вектор-строка с компонентами:

$$h^T(i) = \left(\frac{\eta_1^{sat_i} - \eta_1^{rcv'}}{p_{czlc}^{(i)}}, \frac{\eta_2^{sat_i} - \eta_2^{rcv'}}{p_{czlc}^{(i)}}, \frac{\eta_3^{sat_i} - \eta_3^{rcv'}}{p_{czlc}^{(i)}}, 1 \right), \quad (6)$$

тогда модель задачи оценивания примет вид:

$$z = (z_p^{(1)} \quad z_p^{(2)} \quad \dots \quad z_p^{(M)})^T = (h_1^T \quad h_2^T \quad \dots \quad h_M^T)^T x + (\Delta p_1^s \quad \Delta p_2^s \quad \dots \quad \Delta p_M^s)^T = Hx + r. \quad (7)$$

Решим задачу с помощью метода наименьших квадратов:

$$\tilde{x} = (H^T W^{-1} H)^{-1} H^T W^{-1} z, \quad (8)$$

где W – корреляционная (весовая) матрица шумов измерений (Δp_i^s) .

При помощи полученных оценок $\tilde{\Delta\eta}_1, \tilde{\Delta\eta}_2, \tilde{\Delta\eta}_3$ уточним координаты приёмника:

$$\tilde{\eta}^{rcv'} = \eta^{rcv'} - \tilde{\Delta\eta}. \quad (9)$$

Расчёт итерационный, в конце каждой итерации полагаем, что $\eta^{rcv'} = \tilde{\eta}$. Признаком, определяющим окончания итераций служит, критерий:

$$|\eta_j^{rcv'}(k+1) - \eta_j^{rcv'}(k)| < \delta_j,$$

$$|p_{\Delta\tau}^{rcv'}(k+1) - p_{\Delta\tau}^{rcv'}(k)| < \delta_\tau, \quad (10)$$

где $(j = 1, 2, 3)$, k – номер итерации, δ_j и δ_τ – заданная точность сходимости решения.

Программный алгоритм будет реализован в пакете прикладных математических программ Scilab в связи с большим объёмом исходных данных и работой с матрицами.

Библиографический список

1. <http://celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.asp> [Электронный ресурс].