

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

Предложен метод моделирования работы радионавигационного измерительного комплекса, позволяющий осуществлять верификацию алгоритмов раскрытия неоднозначности фазовых измерений.

© М.П. Семесенко, А.С. Перегонцев, А.А. Тимашов, 2005

УДК 681.3 (031)

М.П. СЕМЕСЕНКО, А.С. ПЕРЕГОНЦЕВ,
А.А. ТИМАШОВ

СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ

Для определения угловых координат движущегося объекта периодически измеряются в дискретные моменты времени, кратные T_u , фазы гармонического сигнала, излучаемого объектом. Прием сигнала осуществляется 16 всенаправленными антеннами, фазовые центры которых лежат в одной горизонтальной плоскости xOz . Фазы сигнала измеряются с точностью до целого числа оборотов: $0 \leq \varphi_k \leq 127$ отсчетных единиц

(1 о. е. = $\frac{\pi}{64}$ рад) с некоторыми ошибками.

Определение угловых координат объекта сводится к устранению неоднозначности фазовых измерений путем решения системы m уравнений с $(m+2)$ неизвестными

$$u_{b_j} \cdot u_0 + v_{b_j} \cdot v_0 = \frac{\lambda}{d_j} \left(k_j + \frac{\psi_j}{128} \right), \quad j = \overline{1, m} \quad (1)$$

где λ – длина волны сигнала, излучаемого объектом; ψ_j – разность фаз сигнала, соответствующая j – базе B_j ; k_j – некоторые целые числа. Под базой понимается упорядоченная пара (A', A'') точек, лежащих в горизонтальной плоскости, относительно которых каким-либо образом определяется разность фаз сигнала. В частности, для геометрической базы эти точки совпадают с фазами центрами некоторых антенн, входящих в угломерный комплекс. Поскольку антенны ра-

дионавигационного комплекса размещаются компактной группой и геометрические размеры отдельной антенны довольно значительны, то диапазон длин геометрических баз невелик. Это затрудняет и замедляет определение угловых координат объекта из-за отсутствия «коротких» геометрических баз. Динамический диапазон длин баз можно существенно расширить, если ввести «искусственные» базы, являющиеся линейными комбинациями с целочисленными коэффициентами геометрических баз:

$$\vec{b}_j = \sum_{k=1}^n b_{j,k} \cdot \vec{a}_k, \quad j = \overline{1, m},$$

где \vec{a}_k – радиус вектор фазового центра k -й антенны; $b_{j,k}$ – структурная матрица системы баз, элементы которой – целые числа.

Поскольку значения ψ_j получаются с ошибками, то систему (1) необходимо решать, минимизируя некоторую функцию от невязок (например, сумму модулей невязок) с учетом целочисленности неизвестных $k_j, j = \overline{1, m}$.

Погрешности измерения могут быть довольно значительными, что приводит к аномальным ошибкам при определении угловых координат объекта, а также выявления баз, содержащих неисправные антенны. Предлагается использовать скорректированные значения базовых разностей фаз, каждая из которых получается в результате линейного сглаживания значений разностей фаз сигнала, измеренных через равные интервалы времени $\tau \ll T_u$ (рис. 1). При этом значение базовых разностей фаз

$$\psi_{1,j}^T = \begin{cases} \bar{\psi}_{1,j}^T & , \text{ если } 0 \leq \bar{\psi}_{1,j}^T < 128, \\ \bar{\psi}_{1,j}^T + 128 & , \text{ если } \bar{\psi}_{1,j}^T < 0, \\ \bar{\psi}_{1,j}^T - 128 & , \text{ если } \bar{\psi}_{1,j}^T \geq 0, \end{cases}$$

где

$$\bar{\psi}_{1,j}^T = \frac{6}{l(l+1)} \left[\frac{2l-1}{3} \cdot \sum_{i=1}^l \bar{\psi}_{i,j} - \sum_{i=1}^l (i-1) \bar{\psi}_{i,j} \right];$$

$\bar{\psi}_{1,j} = \psi_{1,j}$, число значений разности фаз сигнала;

$$\bar{\psi}_{i+1,j} = \bar{\psi}_{i,j} + \delta\psi_{i,j}, \quad i = \overline{1, l-1}; \quad j = \overline{1, m};$$

$\delta\psi_{i,j}$ – приращение разности фаз сигнала по j -й базе:

$$\delta\psi_{i,j} = \begin{cases} \psi_{i+1,j} - \psi_{i,j}, & |\psi_{i+1,j} - \psi_{i,j}| < 64, \\ \psi_{i+1,j} - \psi_{i,j} - 128 \cdot \text{sign}(\psi_{i+1,j} + \psi_{i,j}), & |\psi_{i+1,j} - \psi_{i,j}| < 64. \end{cases}$$

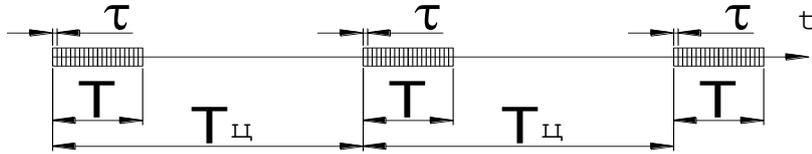


РИС. 1

Пусть в начале очередного цикла измерений объект S занимает начальное положение S_0 , определяемое радиус-вектором \vec{r}_0 . На рис. 2: φ_a, θ_M – соответственно углы азимута и места объекта; x_S, y_S, z_S – декартовы координаты объекта. Индекс «0» относится к начальному положению объекта, а индекс « i » – к его текущему положению. Свяжем с начальным положением S_0 объекта вспомогательную систему координат $S_0\xi\eta\zeta$, ось ζ которой направлена вдоль луча OS_0 , ось ξ – параллельно горизонтальной плоскости xOz , а ось η дополняет ее до правой.

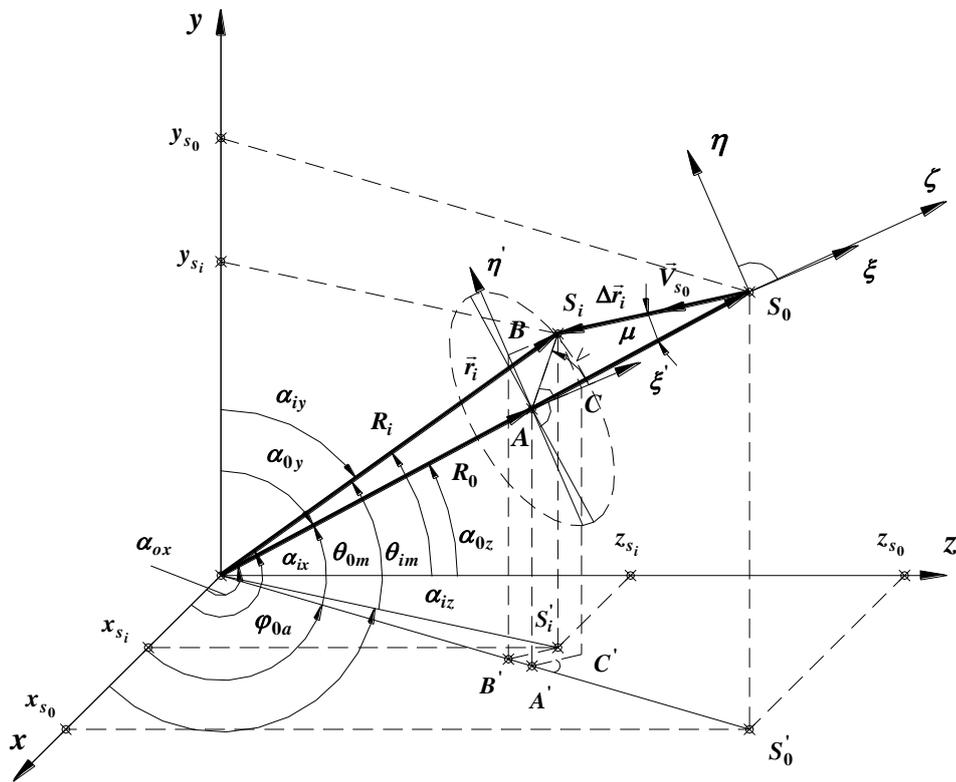


РИС. 2

При достаточно малом промежутке времени можно считать, что объект из начального положения S_0 перемещается с постоянной по значению и направлению скоростью \vec{V}_{s_0} . Тогда текущему положению объекта S_i в момент времени t_i соответствует радиус-вектор $\vec{r}_i = \vec{r}_0 + \Delta\vec{r}_i$.

Текущие значения наклонной дальности R_i и направляющих косинусов u_i, v_i объекта в момент времени t_i соответственно будут:

$$R_i = \sqrt{x_{S_i}^2 + y_{S_i}^2 + z_{S_i}^2},$$

$$u_i = \cos \alpha_{ix} = \frac{x_{S_i}}{R_i}; v_i = \cos \alpha_{iz} = \frac{z_{S_i}}{R_i},$$

где

$$x_{S_i} = x_{s_0} - \Delta r_i (\sin \mu \cos \gamma \cdot \sin \varphi_{0a} + \sin \mu \sin \gamma \sin \theta_{0M} \cos \varphi_{0a} + \cos \mu \cdot \cos \theta_{0M} \cos \varphi_{0a});$$

$$y_{S_i} = y_{s_0} - \Delta r_i (\cos \mu \cdot \sin \theta_{0M} - \sin \mu \sin \gamma \sin \theta_{0M} \cos \varphi_{0M});$$

$$z_{S_i} = z_{s_0} - \Delta r_i (\sin \mu \sin \gamma \sin \theta_{0M} \sin \varphi_{0a} - \sin \mu \cos \gamma \cos \theta_{0M} \cos \varphi_{0a} + \cos \mu \cos \theta_{0M} \sin \varphi_{0a});$$

$$\Delta r_i = v_{S_i} \cdot t_i; \cos \varphi_{0a} = \frac{u_0}{\sqrt{u_0^2 + v_0^2}}; \sin \varphi_{0a} = \frac{v_0}{\sqrt{u_0^2 + v_0^2}};$$

$$\cos \theta_{0M} = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}; \sin \theta_{0M} = \sqrt{1 - u_0^2 - v_0^2}.$$

Моделирование работы комплекса осуществляется следующим образом:

1. Выбирается система баз $B_j, j = \overline{1, m}$.
2. Определяются их параметры (длины d_j , проекции x_{b_j}, z_{b_j} на координатные оси и направляющие косинусы $u_j, v_j, j = \overline{1, m}$).
3. Задаются точные координаты начального положения S_0 объекта (наклонная дальность R_0 и направляющие косинусы $u_0 = \cos \alpha_{0x}, v_0 = \cos \alpha_{0z}$, а также величины V_0 и направление μ, γ) его скорости.
4. Вычисляются точные значения $\varphi_{j,k}^*$ фаз сигналов, принятых в моменты времени $t_i = (i-1)\tau, i = \overline{1, l}$ k -й антенной угломерного комплекса $k = \overline{1, l}$.
5. Выполняется зашумление вычисленных точных значений фаз сигналов путем прибавления к ним случайных ошибок измерения фаз сигналов, синтезированных с помощью датчиков псевдослучайных чисел.
6. Определяются текущие значения разностей фаз сигнала:

$$\Psi_{i,j} \begin{cases} \varphi_{i,j} - \varphi_{i,k}, & \text{если,} & \varphi_{i,j} \geq \varphi_{i,k} \\ \varphi_{i,j} - \varphi_{i,k} - 128, & \text{если} & \varphi_{i,j} < \varphi_{i,k} \end{cases}, \quad i = \overline{1, l}; \quad j = \overline{1, m},$$

(j, k – номера антенн, входящих в j -ю базу).

7. Определяются уточненные значения разностей фаз сигнала.

Моделирование работы измерительной радиосистемы в условиях аддитивного шума, одна компонента которого распределена равномерно в интервале $[-12,5^\circ; 12,5^\circ]$, а другая – нормально с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\sigma_u = 7^\circ$, при $R_0 = 300$ км; $u_0 = 0,125$; $v_0 = 0,625$; $\lambda = 32$ см; $V_s = 3$ км/с; $\mu = 10^\circ$; $\gamma = 0$; $\tau = 2,5$ мс показало, что среднебазовое отклонение измеренной разности фаз сигнала от ее точного значения при $l = 21$ снижается с $0,3093$ рад до $0,0868$ рад, т.е. в $3,5$ раза. При этом были получены следующие значения угловых координат объекта: $u = 0,12492$ и $v = 0,62531$.

Предложенный метод моделирования работы радионавигационного измерительного комплекса позволяет осуществить верификацию алгоритмов раскрытия неоднозначности фазовых измерений в многошкальных измерительных системах. Введено понятие искусственной базы, позволяющее раскрыть диапазон длин баз. Предложена коррекция измеренных значений разностей фаз, что повышает надежность определения угловых координат объекта.

Получено 01.02.2004