

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВОЙ КООРДИНАТЫ ЦЕЛИ В СИСТЕМАХ СО СВЕРХБЫСТРЫМ СКАНИРОВАНИЕМ ЛУЧА

С. В. Анисеев, В. А. Куренёв

Кафедра систем автоматического управления, Военная академия РБ

Минск, Республика Беларусь

E-mail: serega_a@cosmostv.by

В статье рассмотрен метод измерения угловой координаты цели в системах со сверхбыстрым сканированием луча. В основе метода лежит схема слежения за временным положением пачек принимаемых сигналов.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим метод измерения угловой координаты цели в системах со сверхбыстрым сканированием луча [1, 2]. Будем считать, что при сканировании слоями видимости по дальности на обзор промежутка между слоями видимости d затрачивается такое же время, как и на обзор сектора сканирования по углу Φ при обычном медленном сканировании. Это значит, что период медленного сканирования слоями видимости по дальности $T_d = \frac{d}{V_d}$ равен аналогичному периоду при медленном сканировании по углу $T_{ck} = \frac{\Phi}{\Omega}$, т.е. выполняется равенство

$$\frac{d}{V_d} = \frac{\Phi}{\Omega}, \quad (1)$$

где $d = \frac{c\tau_i}{2}$ – длительность элемента разрешения, обеспечиваемая импульсом передатчика; V_d – скорость сканирования по дальности.

Облучение цели и прием отраженных от нее сигналов производятся при линейном сканировании приемопередающей диаграммой направленности [3]

$$\theta_A(t) = \Omega t,$$

где Ω – угловая скорость движения приемопередающей диаграммы направленности в секторе Φ .

На закон качания приемопередающего луча наложим естественное ограничение, заключающееся в том, что в момент прихода отраженных сигналов диаграмма всегда выставляется в направлении на цель. Скорость сканирования полагаем произвольной, но отвечающей техническим возможностям антенной системы.

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Модель наблюдения в одном периоде повторения сигнала может быть записана в виде

$$y(t) = \sqrt{2P_{ck}} \operatorname{Re} \dot{G}_p[\Omega(t - \tau_a - \tau_{del})] \times \\ \times \dot{u}(t - \tau_a) e^{j\omega_0 t} + n(t),$$

где P_{ck} – средняя мощность сигнала цели при приеме на антенну с качанием луча за время длительности импульса;

$\dot{G}_p(\Omega t)$ – комплексная диаграмма направленности (по мощности), модулирующая сигналы при качании луча;

$\dot{u}(t)$ – комплексный закон модуляции зондирующего сигнала;

τ_a и τ_{del} – временные запаздывания сигналов, обусловленные дальностью и угловым положением цели;

ω_0 – несущая частота;

$n(t)$ – шум наблюдения с односторонней спектральной плотностью N .

Комплексная огибающая пачки принимаемых сигналов

$$\dot{G}_d\left(\frac{t - \tau_d}{T_p}\right), \quad (2)$$

где $\tau_d = \frac{r_d}{V_d}$ – время задержки пачки относительно начала сканирования слоями видимости по дальности; r_d – дальность до цели относительно исходного положения слоя видимости перед сканированием; T_p – длительность пачки сигналов, однозначно связанная с радиальной скоростью V_r и радиальным размером L_r лоцируемого объекта

$$T_p = \frac{d_0 + L_r}{V_d - V_r} = T_{p0} \frac{1 + \frac{L_r}{d_0}}{1 - \frac{V_r}{V_d}},$$

где $d_0 = \frac{\theta_0}{\Phi} d$ – толщина слоя видимости; $T_{p0} = \frac{\theta_0}{\Phi} T_d$ – длительность пачки сигналов от точечной цели.

II. ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Выполнение условия (1) позволяет выражение для длительности пачки принимаемых сигналов представить следующим образом

$$T_p = \frac{d_0 + L_r}{V_d - V_r} = \frac{\theta_0}{\Phi} \frac{d}{V_d} \frac{1 + \frac{L_r}{d_0}}{1 - \frac{V_r}{V_d}} = \frac{\theta_0}{\Omega} \frac{1 + \frac{L_r}{d_0}}{1 - \frac{V_r}{V_d}},$$

а аргумент комплексной огибающей пачки (2) принимает вид

$$\frac{t - \tau_d}{T_p} = \frac{(t - \tau_d)\Omega}{\theta_0} \frac{1 - \frac{V_r}{V_d}}{1 + \frac{L_r}{d_0}} = \frac{t - \tau_d}{T_{p0}} \frac{1 - \frac{V_r}{V_d}}{1 + \frac{L_r}{d_0}}.$$

Полученное выражение по форме с точностью до множителя $\frac{1 - \frac{V_r}{V_d}}{1 + \frac{L_r}{d_0}}$ отражающего специ-

фику сверхбыстрого сканирования по углу, совпадает с аргументом $\frac{t-\tau_{del}}{T_{p0}} = \frac{(t-\tau_{del})\Omega}{\theta_0}$ комплексного закона модуляции принимаемых сигналов $\dot{G}_d(\frac{t-\tau_{del}}{T_{p0}})$ при обычном медленном угловом сканировании диаграммы направленности с длительностью пачки $T_{p0} = \frac{\theta_0}{\Phi} T_{ck}$ и задержкой пачки $\tau_{del} = \frac{\theta_a}{\Omega} = \frac{\theta_a}{\Phi} T_{ck}$. Отсюда следует, что задержка пачки сигналов при сканировании слоями видимости по дальности τ_d зависит от угловой координаты цели. Для нахождения этой зависимости снова воспользуемся предположением о равенстве между периодом сканирования слоями видимости по дальности и аналогичным периодом при медленном сканировании по углу $T_d = T_{ck}$.

В рассматриваемом случае по аналогии с равенством $\frac{d}{V_d} = \frac{\Phi}{\Omega}$, будет выполняться равенство $\frac{r_d}{V_d} = \frac{\theta_a}{\Omega}$, или $\frac{r_d}{d} = \frac{\theta_a}{\Phi}$, т.е. дальность до цели относительно исходного положения слоя видимости, отнесенная к расстоянию между слоями видимости d составляет такую же величину, как и угловая координата цели θ_a относительно начала сектора сканирования, отнесенная к величине сектора сканирования Φ . Это значит, что дальность до цели r_d , а следовательно и временное запаздывание пачки импульсов относительно начала сканирования по дальности τ_d зависят от угловой координаты цели θ_a , т.е. $r_d = \frac{d\theta_a}{\Phi}$, а $\tau_d = \frac{r_d}{V_d} = \frac{\theta_a}{\Phi} T_d$. Этот же результат следует из очевидного равенства $\frac{\tau_{del}}{\tau_i} = \frac{\tau_d}{T_d}$, где $\tau_{del} = \frac{\theta_a}{\Phi} T_i$, а именно $\tau_d = \frac{\tau_{del} T_d}{\tau_i} = \frac{\theta_a}{\Phi} T_d$.

Таким образом, при сканировании слоями видимости по дальности на входе приемной системы будет приниматься периодическая последовательность пачек, имеющих форму $\dot{G}_d(\frac{t-\tau_d}{T_p})$ и задержанных относительно начала сканирования на время, зависящее от угловой координаты цели $\tau_d = \frac{\theta_a}{\Phi} T_d$.

Длительность пачек зависит от ряда факторов: отношения радиального размера цели к толщине слоя видимости $\frac{L_r}{d_0}$, отношения радиальной скорости цели к скорости сканирования слоями видимости по дальности $\frac{V_r}{V_d}$ и направления сканирования (в догон или навстречу).

III. Выводы

Для измерения угловой координаты цели необходимо осуществлять слежение за временным положением пачек с помощью электронной схемы. При этом факторы, приводящие к расширению пачек импульсов, будут уменьшать точность измерения угловой координаты, а приводящие к уменьшению длительности – повышать точность. К первым относится увеличение радиального размера цели и сканирование в догон, а ко вторым – уменьшение радиального размера цели и сканирование навстречу. Т.е. измерение угловой координаты радиально протяженной цели при сканировании в догон будет осуществляться с большими ошибками, чем точечной цели при сканировании слоями видимости навстречу. Это следует из выражения для длительности пачки

$$T_p = \frac{d_0 + L_r}{V_d - V_r} = T_{p0} \frac{1 + \frac{L_r}{d_0}}{1 - \frac{V_r}{V_d}}$$

1. Гинзбург, В. М. Формирование и обработка изображений в реальном масштабе времени: Методы быстрого сканирования / В. М. Гинзбург. – М.: Радио и связь, 1986. – 232 с.
2. Куренёв, В. А. Статистический синтез и анализ оптимальных измерителей со сверхбыстрым сканированием диаграмм направленности / В. А. Куренёв. – Минск: ВА РБ, 2004. – 84 с.
3. Аникеев, С. В. Синтез двухкоординатного измерителя со сверхбыстрым сканированием диаграмм направленности / С.В.Аникеев, В.А.Куренёв // Известия НАН. Серия физ.-техн. наук — 2015. — №1. — С. 112–117.