

ОСОБЕННОСТИ ПЕЛЕНГАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Филиппов Д.И.

Забеньков И.И. – профессор, д.т.н.

В основе методов измерения дальности до объектов пассивной локации лежит определение направления прихода радиоволн и соответствующая обработка фронта волны. Наиболее употребительными методами пеленгации являются амплитудный и фазовый. В данной работе рассматривается фазовый метод пеленгации и влияние широкополосности сигналов на пеленгационные характеристики. Методология определения местоположения объектов по излучаемому или пассивному сигналу рассматривалась в [1-5]. В указанных работах предполагается узкополосность пространственно-временного сигнала, что позволяет автоматически переносить результаты активной радиолокации на пассивную радиолокацию при пеленгации целей. Однако в большинстве случаев при применении в качестве измерительного инструмента высокочувствительных радиометров это условие нарушается, что, естественно, необходимо учитывать. Условия узкополосности пространственно-временного сигнала [4] можно записать в виде

$$\frac{\Delta f}{f_0} < \frac{\lambda_0}{L} \quad (\Delta f < C/L),$$

где λ_0 – длина волны, соответствующая средней частоте фильтра; L – протяженность раскрыва апертуры антенны или базы пеленгатора; C – скорость распространения радиоволн. В противоположном случае сигнал для рассматриваемой антенной системы является широкополосным. Современные радиометры характеризуются высокой чувствительностью, достигающей долей градусов и широкой полосой пропускания радиоприемного тракта, которая может достигать 300...500 МГц и более. Рассчитаем верхнюю границу размера раскрыва антенны, когда принимаемый пространственно-временной сигнал еще можно считать узкополосным (квазикогерентным)

$$L = \frac{C}{\Delta f} = \frac{3 \times 10^8}{500 \times 10^6} = 0,6 \text{ м.}$$

Большинство антенных раскрывов превосходит данное значение, поэтому "условие полной корреляции входных процессов" нарушается. Следовательно, при построении систем пеленгации источников широкополосных сигналов с применением высокочувствительных радиометров, следует учитывать условие (1). Оптимальная схема обработки сигналов при пеленгации методом сравнения фаз представлена на рисунке 1 [1].

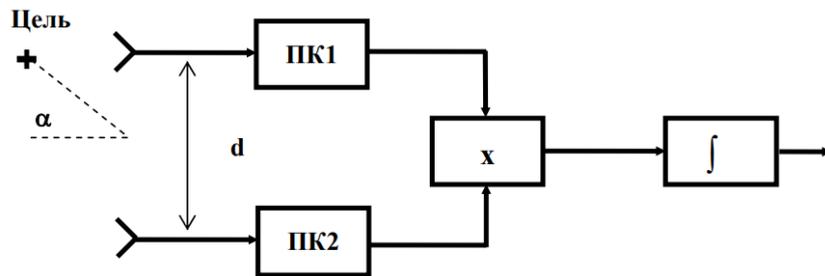


Рисунок 1 - Структурная схема фазового пеленгатора
(x - перемножитель, ∫ - интегратор, d – база пеленгатора)

Пусть приемные каналы ПК1 и ПК2 пеленгаторов имеют одинаковую центральную частоту настройки и идентичные частотные и фазовые характеристики. Допустим также, что диаграммы направленности по напряженности излучателей одинаковы и имеют в направлении объекта одинаковую величину

$$F_1(\alpha) = F_2(\alpha) = F(\alpha).$$

Когда выполняется условие узкополосности (1), соотношения для пеленгационной характеристики и чувствительности имеют вид [1]

$$\Psi_{\varphi}(\alpha) = F(\alpha) \sin \left[\frac{2\pi d}{\lambda_0} \sin \alpha \right], \quad \gamma_{\varphi}(\alpha) = \frac{2\pi}{\lambda_0} d. \quad (2)$$

Отметим, что приведенные соотношения соответствуют использованию фазового детектора с синусной фазовой характеристикой.

Пеленгационная чувствительность и точность измерений увеличивается при повышении d/λ_0 , однако при $d/\lambda_0 > 0,5$ пеленгационная характеристика становится неоднозначной. При приеме широкополосного сигнала пользоваться соотношением (2) нельзя, т.к. нарушается условие (1). В этом случае необходимо учитывать статистические свойства источника. Покажем это. Пусть приемные каналы имеют идеальную для приема широкополосного шума частотную характеристику [1]

$$C(\omega) = \begin{cases} 1, & |\omega - \omega_0| \leq \frac{\Delta\omega}{2}, \\ 0, & |\omega - \omega_0| > \frac{\Delta\omega}{2}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$ – средняя частота фильтра; $\Delta\omega = 2\pi\Delta f$ – полоса пропускания фильтра. Тогда энергетический спектр принимаемого сигнала имеет вид[6]

$$N(\omega) = \begin{cases} 2N_0, & |\omega - \omega_0| \leq \frac{\Delta\omega}{2}, \\ 0, & |\omega - \omega_0| > \frac{\Delta\omega}{2}. \end{cases}$$

Корреляционная функция $B(\tau)$, коэффициент корреляции $R(\tau)$ и время корреляции τ_0 определяются соответственно соотношениями

$$B(\tau) = \frac{2N_0}{\pi\tau} \sin \frac{\tau\Delta\omega}{2} \cos \omega_0\tau, R(\tau) = \frac{\sin \frac{\tau\Delta\omega}{2}}{\frac{\tau\Delta\omega}{2}} \cos \omega_0\tau, \tau_0 = \frac{\pi}{\Delta\omega} \quad (4)$$

Разность хода лучей в 1-м и 2-м каналах можно трактовать как временную задержку и, следовательно, после перемножения и усреднения получаем сигнал, пропорциональный корреляционной функции. Поскольку $\tau = \frac{d}{c} \sin \alpha$, то пеленгационная характеристика для рассматриваемого случая следует из соотношений (4)

$$\Psi(\alpha) = \left[\frac{\pi d \Delta f}{\lambda_0 f_0} \sin \alpha \right]^{-1} F(\alpha) \sin \left[\frac{\pi d \Delta f}{\lambda_0 f_0} \sin \alpha \right] \cos \left[\frac{2\pi d}{\lambda_0} \sin \alpha \right] \quad (5)$$

Как видно из (5), пеленгационная характеристика шумового сигнала отличается от (2) зависимостью от ширины полосы сигнала, которая определяет корреляционные свойства источника теплового излучения. Нетрудно показать, что пеленгационная чувствительность осталась прежней и определяется соотношением $\gamma(\alpha) = \frac{2\pi d}{\lambda_0}$. На рис. 2 представлены типичные пеленгационные характеристики (косинусный фазовый детектор). Кривая 1 описывает пеленгационную характеристику для пеленгатора с узкополосным сигналом; кривая 2 – пеленгационную характеристику для пеленгатора с широкополосным сигналом; кривые 3 описывают огибающую пеленгационной характеристики для пеленгатора с широкополосным сигналом. Различия в пеленгационных характеристиках очевидны – во втором случае при увеличении угла α уровень огибающей уменьшается. Нули пеленгационной характеристики α_0 определяются соотношением

$$\alpha_0 = \arcsin \left[\frac{\lambda_0 f_0}{d \Delta f} \right] = \arcsin \left(\frac{C}{d\Delta f} \right).$$

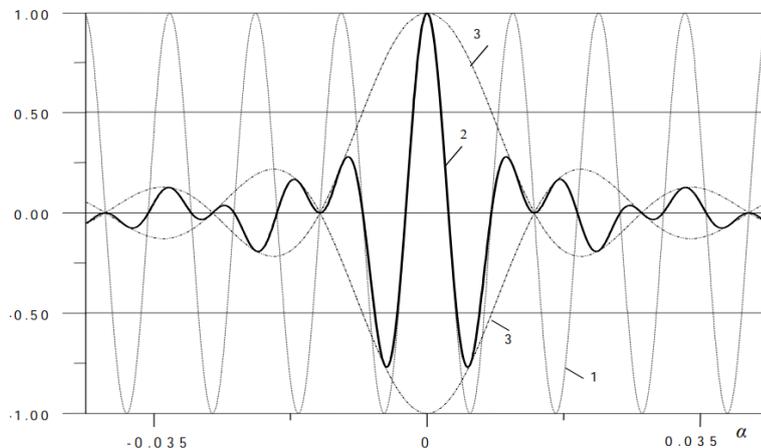


Рисунок 2 – Пеленгационные характеристики:
1 – для узкополосного сигнала; 2 – для широкополосного сигнала;
3 – огибающие пеленгационной характеристики

Отсюда следует, что при соответствующем выборе базы ширину основного пика функции неопределенности можно сделать достаточно малой. Однако изменение ширины базы влечет за собой и изменение пеленгационной характеристики (в том числе и узкополосного пеленгатора), в то время как изменение ширины полосы пропускания фильтра приводит к изменению пеленгационной характеристики только пеленгатора с широкополосным сигналом, обусловленное изменением огибающей пеленгационной характеристики. Таким образом, при практически приемлемых габаритах фазового пеленгатора можно получить довольно узкий пик в пеленгационной характеристике. Кроме того, анализ показывает, что в радиотеплокационных системах с обработкой широкополосных сигналов приводит к уменьшению уровня боковых лепестков диаграммы направленности. При этом мощность помех, принимаемых по боковым лепесткам, снижается и, как следствие, повышается качество обработки сигналов. Особую важность пространственная селективность приобретает в радиотеплокационных системах с искусственным сжатием диаграммы направленности [1]. Отметим, что точность пеленгования зависит от отношения сигнал / шум. Суммарная энергия сигнала $\mathcal{E} = \Delta f N_0 T$, где T – время интегрирования. Отсюда видно, что повышение отношения сигнал/шум можно вести по двум путям. Во-первых, можно увеличить время интегрирования (или уменьшить полосу пропускания низкочастотной части радиометра ΔF) [1,2], однако это приводит к увеличению инерционности сканирующих пеленгаторов. Во-вторых, к аналогичным результатам приводит расширение полосы пропускания ПФ. Выше отмечалось и из рисунка 2 видно, что в случае узкополосного пеленгационная характеристика является неоднозначной. Устранение неоднозначности можно осуществлять различными способами – изменением размера базы, частоты сигнала [2,7]. При использовании широкополосных сигналов уровень сигнала в соседних секторах неоднозначности, в отличие от систем с узкополосным сигналом, уменьшается в соответствии с огибающей пеленгационной характеристики. Изменением полосы пропускания радиометрического приемника (при соответствующей нормировке мощности) можно классифицировать однозначные и неоднозначные измерения. Таким образом, из приведенного анализа можно сделать вывод о благотворном влиянии широкополосности сигналов на характеристики фазовых пеленгаторов: о улучшается пеленгационная характеристика фазового пеленгатора, что позволяет, в частности, снижать требования к антенным системам; о улучшается соотношение сигнал/шум, что в конечном итоге ведет к увеличению точности пеленгования.

Список использованных источников

1. Николаев А.Г., Перцов С.В. Радиотеплокация (пассивная радиолокация). – М.: Сов. радио, 1964. – 336 с.
2. Теоретические основы радиолокации / Под ред. Я.Д.Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
3. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
4. Фалькович С.Е., Хомяков Э.Н. Статистическая теория измерительных радиосистем. – М.: Радио и связь, 1981. – 288 с.
5. Пространственно-временная обработка сигналов / И.Я. Кремер, А.И. Кремер, В.М. Петров и др.; Под ред. И.Я.Кремера. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – Т.1. – М.: Сов. радио, 1969. – 752 с.
7. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.