

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНЫМ МЕТОДОМ ИСТОЧНИКОВ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ

П. А. Трифонов, Т. Т. Доан, Н. Н. Ахмад

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 13.12.2022 г.

Аннотация. Разработан способ определения местоположения источника сверхширокополосных сигналов СШПС на основе разностно-дальномерного метода. Проведено исследование влияния помех на эффективность местоопределения источника СШПС.

Ключевые слова: сверхширокополосный сигнал, узкополосная помеха, квазиправдоподобная оценка, разностно-дальномерный метод.

POSITIONING ACCURACY ASSESSMENT DIFFERENCE-RANGE METHOD OF SOURCES OF ULTRA-WIDEBAND SIGNALS IN THE PRESENCE OF INTERFERENCE

P. A. Trifonov, T. T. Doan, N. N. Ahmad

Abstract. A method has been developed for determining the location of a source of ultra-wideband signals (UWBS) based on the difference-range method. A study of the effect of interference on the efficiency of the location of the UWBS source has been conducted.

Keywords: ultra-wideband signal, narrowband interference, quasi-likelihood estimate, difference-range method.

В настоящее время в современных радиоэлектронных системах (РЭС) широко используются СШПС, которые могут обеспечить высокую информативность и помехоустойчивость [1–3]. В связи с этим в ряде задач радиомониторинга возникает необходимость определения координат источников излучения СШПС, часто в условиях воздействия преднамеренных и непреднамеренных помех.

Для определения местоположения источника СШПС на основе триангуляционной системы [1] необходимо использовать четыре измерителя моментов появления СШПС. Можно ограничиться тремя приемниками, если использовать разностно-дальномерную систему [1]. Геометрию такой системы можно представить в виде как на рисунке 1. Здесь две одинаковые базы d расположены под произвольным углом Γ . Два пункта приема 1 и 2 расположены в точках 1 и 2 с координатами (x_1, y_1) и (x_2, y_2) соответственно. Третий пункт приема расположен в точке O .

Положение источника СШПС, расположенного в точке M , определяется полярными координатами (R_0, φ_0) или их декартовыми аналогами (x_0, y_0) .

Среднеквадратическая ошибка определения местоположения на основе разностно-дальномерного способа представим в виде [2]

$$\sigma_{Gr1}^2 = \frac{c^2 \sigma_{\Delta\theta_1}^2 \sin^2(\gamma)}{4} \left[\sin^{-2} \left(\frac{\varphi_1}{2} \right) + \sin^{-2} \left(\frac{\varphi_2}{2} \right) \right], \quad (1)$$

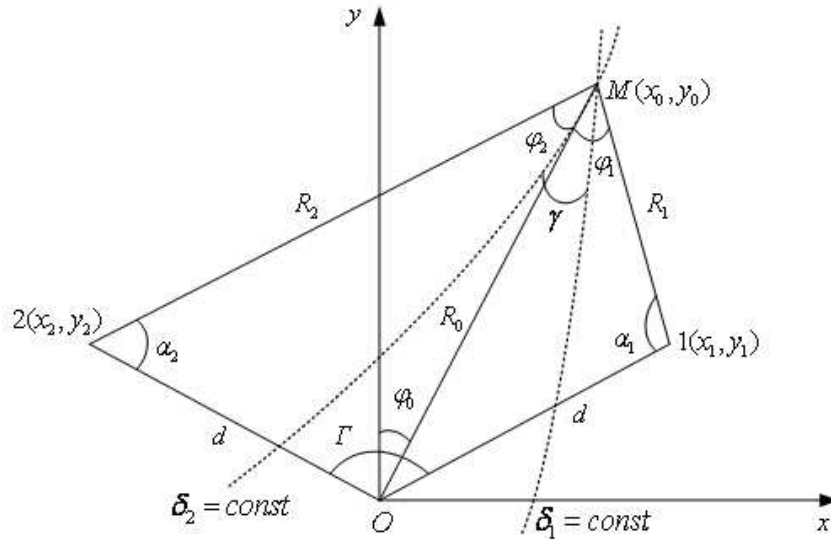


Рис. 1. Разностно-дальномерная система координатометрии источника СШП радиоизлучения.

где $\varphi_1, \varphi_2, \gamma$ — углы, указаны на рисунке 1, $\sigma_{\Delta\theta_1}^2$ — дисперсия оценки разности моментов появления СШПС при воздействии помех, которая определяется выражением [1]:

$$\sigma_{\Delta\theta_1}^2 = \frac{2V(\hat{\theta}_1)}{\chi^2} [\chi - R_\xi(\chi - 1)]. \quad (2)$$

При отсутствии помех СКО определения местоположения на основе разностно-дальномерного способа представим в виде

$$\sigma_{Gr}^2 = \frac{c^2 \sigma_{\Delta\theta}^2 \sin^2(\gamma)}{4} \left[\sin^{-2}\left(\frac{\varphi_1}{2}\right) + \sin^{-2}\left(\frac{\varphi_2}{2}\right) \right], \quad (3)$$

где $\sigma_{\Delta\theta}^2$ — дисперсия оценки разности моментов появления СШПС при отсутствии помех, которая определяется выражением

$$\sigma_{\Delta\theta}^2 = \frac{2V(\hat{\theta}_1)}{\chi^2}. \quad (4)$$

В качестве конкретного примера рассмотрим точность местоопределения СШПС в виде прямоугольного импульса: $s(t) = a \begin{cases} 1, & |t| < \tau/2 \\ 0, & |t| > \tau/2 \end{cases}$, полагаем $x = t/\tau$, тогда спектр прямоугольного импульса можно записать в виде [2]:

$$S(j\omega) = a \frac{\sin(x/2)}{x/2}, \quad (5)$$

где τ — длительность импульса.

В качестве помеховых воздействий рассмотрим импульс Гаусса: $f_1(x) = a_{1i} \exp(-\pi t^2/2\tau^2)$ со спектром: $G_1(\omega) = \sqrt{2} a_{1i} \exp(-\pi x^2/2)$, моноцикл второго порядка: $f_2(x) = a_{1i} [1 - 4\pi(\frac{t}{\tau})^2] \exp[-2\pi(\frac{t}{\tau})^2]$ со спектром: $G_2(\omega) = a_{2i} \frac{\sqrt{2} x^2 \exp(-x^2/8\pi)}{8\pi}$ и гауссовскую узкополосную помеху (ГУП), которая имеет корреляционную функцию $B_\xi(\tau) = \xi(t) \xi(t + \tau)$ и

спектральную плотность [2]

$$G_{\xi}(\omega) = \sum_{i=1}^K \frac{\gamma_i}{2} \left[I\left(\frac{\omega_{0i} - \omega}{\Omega_i}\right) + I\left(\frac{\omega_{0i} + \omega}{\Omega_i}\right) \right], \quad (6)$$

где ω_{0i} — центральная частота, $\Omega = \int_0^{\infty} G_{\xi}^2(\omega) d(\omega) / \max G_{\xi}^2(\omega)$ — эквивалентная полоса частот, $\gamma = \sup G_{\xi}(\omega)$ — величина спектральной плотности ГУП (интенсивность) и $I(x) = \begin{cases} 1, & |x| < 1/2 \\ 0, & |x| > 1/2 \end{cases}$. Согласно [1], отношение спектральных плотностей ГУП и белого шума определяется выражением:

$$q_i = \gamma_i / N_0. \quad (7)$$

Если амплитуды импульсов Гаусса и моноцикла второго порядка априори известны $a_{1i} = a_{2i}$, параметр q_i^* определяется выражением:

$$q_i^* = \frac{2a_i^2}{N_0}. \quad (8)$$

Для определения точности местоположения СШПС при воздействии помех будем полагать $q_i = q_i^*$.

Из выражений (1)–(4) найдем увеличения СКО местоопределения источника СШПС вследствие воздействия ГУП

$$\chi_{\varphi 1} = \frac{\sigma_{Gr1}^2}{\sigma_{Gr}^2} = \frac{\sigma_{\Delta\theta 1}^2}{\sigma_{\Delta\theta}^2} = \chi_1 - R_{\xi}(\chi_1 - 1). \quad (9)$$

При определении величин χ_1 и $R_{\xi 1}$ в выражении (9), можно избежать вычисления двойного интеграла, если перейти к спектральному представлению. Действительно, в этом случае получаем

$$\chi_1 = 1 + \frac{2}{N_0} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} G_{\xi}(\omega) |S(j\omega)|^2 d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega}, \quad (10)$$

$$R_{\xi}(\Delta t) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} G_{\xi}(\omega) |S(j\omega)|^2 \exp(j\omega\Delta t_1) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} G_{\xi}(\omega) |S(j\omega)|^2 d\omega}. \quad (11)$$

Аналогично (9), можно найти увеличения СКО местоопределения источника СШПС вследствие воздействия помех в виде импульса Гаусса $\chi_{\varphi 2}$ и в виде моноцикла второго порядка $\chi_{\varphi 3}$

$$\chi_{\varphi 2} = \chi_2 - R_2(\chi_2 - 1), \quad (12)$$

$$\chi_{\varphi 3} = \chi_3 - R_3(\chi_3 - 1), \quad (13)$$

где χ_2 , R_2 и χ_3 , R_3 определяются аналогично (10), (11).

На рисунке 2 представлен график зависимости увеличения СКО местоопределения источника СШПС от отношения помеха–шум вследствие воздействия ГУП (кривая 1), помех в виде импульса Гаусса (кривая 2) и помех в виде моноцикла второго порядка (кривая 3). Предполагалось, что величина, обусловленная различием угловых положений источников СШПС и помех Δt одинакова и равна $\frac{\tau}{2}$.

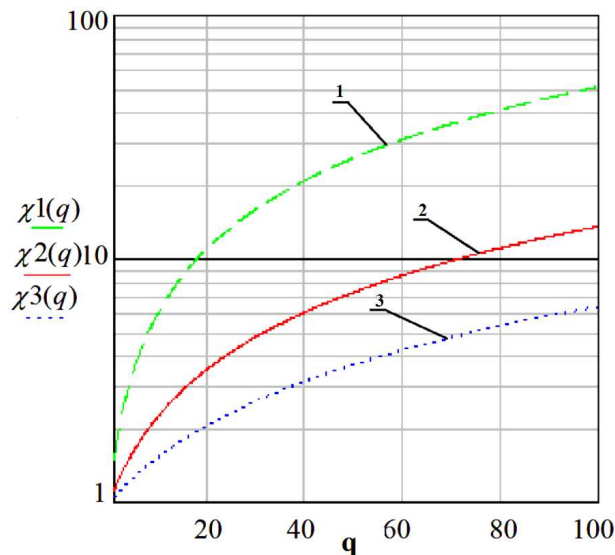


Рис. 2. График зависимости увеличения СКО местоопределения источника СШПС от отношения помеха-шум.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 2 можно сделать вывод, что увеличение величины отношения помеха-шум q приводит к существенному увеличению СКО местоопределения источника СШПС. Из графика видим, что в случае, когда принимаемый СШПС имеет вид прямоугольного импульса, при одном и том же значении отношения помеха-шум, увеличения СКО вследствие воздействия ГУП максимальное по сравнению с помехами в виде импульса Гаусса и моноцикла второго порядка.

Таким образом, разработан новый способ определения местоположения источника СШПС на основе разностно-дальномерного метода. Проведено исследование влияния различного вида помех на точность местоопределения источника СШПС. Показано, что наибольшую погрешность в точность местоопределения источников СШПС вносит ГУП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратьев, В. С. Многопозиционные радиотехнические системы / В. С. Кондратьев, А. В. Котов, Л. Н. Марков. — М. : Радио и связь, 1986. — 264 с.
2. Радзиевский, В. Г. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех / В. Г. Радзиевский, П. А. Трифонов. — М. : Радитехника, 2009. — 288 с.
3. Астанин, Л. Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений / Л. Ю. Астанин, А. А. Костылев. — М. : Радио и связь, 1989. — 192 с.

REFERENCES

1. Kondratiev V.S., Kotov A.V., Markov L.N. Multiposition radio systems. [Kondrat'yev V.S., Kotov A.V., Markov L.N. Mnogopozitsionnyye radiotekhnicheskiye sistemy]. Moscow: Radio i svyaz', 1986, 264 p.
2. Radzievsky V.G., Trifonov P.A. High-bandwidth and interference processing. [Radzievskiy V.G., Trifonov P.A. Obrabotka sverkhshirokopolosnykh signalov i pomekh]. Moscow: Raditekhnika, 2009, 288 p.
3. Astanin L.Yu., Kostylev A.A. Fundamentals of ultra-wideband radar measurements. [Astanin L.YU., Kostylev A.A. Osnovy sverkhshirokopolosnykh radiolokatsionnykh izmereniy]. Moscow: Radio i svyaz', 1989, 192 p.

*Трифонов Павел Андреевич, доктор технических наук, доцент, профессор каф. радиоп физики ВГУ, Воронеж, Российская Федерация
E-mail: bk_123@bk.ru*

*Trifonov Pavel Andreevich, doctor of technical sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Radiophysics of Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
E-mail: bk_123@bk.ru*

*Доан Тхе Туан, аспирант каф. радиоп физики ВГУ, Воронеж, Российская Федерация
E-mail: doanhetuan30071996@gmail.com*

*Doan The Tuan, graduate student of the Department of Radiophysics of Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
E-mail: doanhetuan30071996@gmail.com*

*Насим Надим Ахмад, адъюнкт, ВУНЦ ВВС “ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина”, Воронеж, Российская федерация
E-mail: nasimakhtad@yandex.ru*

*Nasem Nadem Ahmad, adjunct, MESC AF “N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy”, Voronezh, Russian Federation
E-mail: nasimakhtad@yandex.ru*