

ФЛУКТУАЦИОННАЯ ОШИБКА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВОЙ КООРДИНАТЫ ЦЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

М.М. БУЛАШ

ОАО «АЛЕВКУРП»
ул. П. Бровки, 6-332, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
max.302@rambler.ru

Работа посвящена сопоставлению оптимального и квазиоптимального методов амплитудно-мгновенного сравнения (АМС) при определении угловых координат цели с использованием адаптивной фазированной антенной решётки (ФАР) при наличии и отсутствии помехи по боковым лепесткам диаграммы направленности.

Ключевые слова: диаграмма направленности, адаптация, весовые коэффициенты, флуктуационная ошибка.

Применение цифровой ФАР позволяет реализовать оптимальный метод пеленгации как альтернативу широко используемому методу АМС [1, с. 554].

Выражение для оптимальной дискриминационной характеристики (ДХ) в дискретном виде запишется следующим образом [1, с. 553]:

$$D(n, \Delta) = 2 \cdot \operatorname{Re}[S'_c(n, \varphi_{\text{изм}}) \cdot S_c^*(n, \varphi_{\text{изм}})], \quad (1)$$

где n – дискретное время, $\Delta = \varphi_{\text{изм}} - \varphi_{\text{ц}}$ – рассогласование измеряемого угла ($\varphi_{\text{изм}}$) и реального положения цели ($\varphi_{\text{ц}}$); $S_c(n, \varphi_{\text{изм}})$ – комплексная амплитуда принятого сигнала (в случае внутривыборочной обработки – корреляционный интеграл), $S'_c(n, \varphi_{\text{изм}}) = \partial S_c(n, \varphi_{\text{изм}}) / \partial \varphi_{\text{изм}} (*)^*$ – комплексное сопряжение.

Для получения $S'_c(n, \varphi_{\text{изм}})$ и $S_c(n, \varphi_{\text{изм}})$ необходимо иметь весовые коэффициенты ФАР, удовлетворяющие выражениям, соответственно,

$$\omega_l = i \cdot k \cdot d \cdot l \cdot \cos(\varphi_{\text{изм}}) \cdot \exp[i \cdot k \cdot d \cdot l \cdot \sin(\varphi_{\text{изм}})] \quad \text{и} \quad \omega_l = \exp[i \cdot k \cdot d \cdot l \cdot \sin(\varphi_{\text{изм}})] \quad (2)$$

где i – мнимая единица, k – волновое число, d – расстояние между соседними элементами ФАР, l – номер элемента, N – количество элементов.

А для адаптации к помехам вектор весовых коэффициентов должен иметь вид

$$\omega_{\text{опт}} = \hat{\mathbf{R}}_{nn}^{-1} \cdot \omega, \quad (3)$$

где $\hat{\mathbf{R}}_{nn}$ – оценка корреляционной матрицы помех и шума [2, с.91-92]; ω – вектор-столбец, элементы которого соответствуют (2).

Исследования проводились с помощью имитационной модели, написанной в среде Matlab при следующих условиях: частота полезного сигнала – $f_0 = 10$ ГГц; ширина ДН антенны – $\Delta\varphi = 2$ град.; $N=32$; направление цели – 0 град.; $P_{\text{пом}} / P_c = 20$ дБ ($P_{\text{пом}}$ – мощность помехи, P_c – мощность сигнала), направление помехи

$\theta_{\text{пом}} = 10$ град. . В каждом опыте выполнялось 1000 реализаций. Для нахождения флуктуационной ошибки предполагалось, что известно точное положение цели, в качестве шума взят белый гауссовский шум.

Оптимальное значение рассогласования диаграмм направленности в квазиоптимальном алгоритме [1, с. 562], при котором достигается максимальная крутизна ДХ имеет значение $(\delta\varphi)_{\text{опт}} = 2\Delta\varphi / \sqrt{2\pi} = 2 \cdot 2 / \sqrt{2\pi} = 1,6$ град. .

Зависимость флуктуационной ошибки от отношения сигнал/шум (с/ш) при разном рассогласовании ДН в отсутствие помехи представлена на рис.1, а, б; при наличии и отсутствии помехи с и без адаптации к ней на рис. 2, а, б.

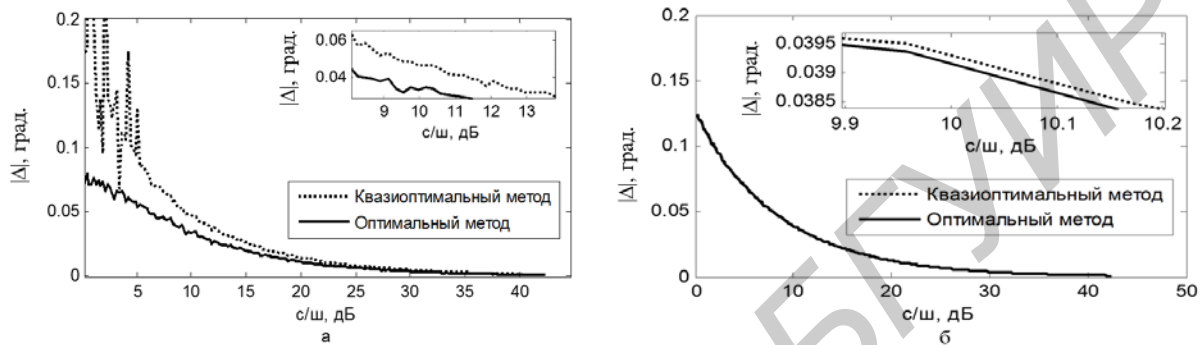


Рис. 1. Флуктуационная ошибка определения углового положения цели в зависимости от отношения сигнал/шум без помехи, рассогласование ДН: а – 4 град.; б – 1,6 град.

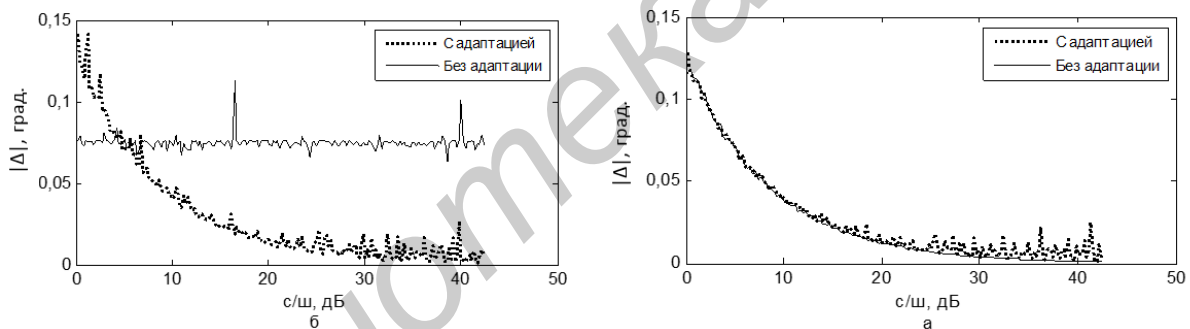


Рис. 2. Флуктуационная ошибка определения угла оптимальным методом при: а – наличии помехи; б – отсутствии помехи

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при оптимальном рассогласовании диаграмм направленности, квазиоптимальный метод (АМС) практически не уступает оптимальному, дальнейшее уменьшение рассогласования не имеет большого смысла, а увеличение ведёт к ухудшению точности определения угловой координаты. Процесс адаптации в свою очередь вносит дополнительную ошибку определения угла, хотя при наличии помехи без адаптации не обойтись.

Список литературы

1. Охрименко А. Е. Олейников О. А. Теоретические основы радиолокации. МВИЗРУ, 1976.
2. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решётках. М.: Радио и связь, 2003.