

мещений по результатам оценки технической и экономической эффективности таких решений.

Литература

1. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения: ТР ЕАЭС 043/2017. – Введ. 01.01.2020 [Электронный ресурс] / ЕЭК. – Режим доступа: <http://tnpa.by/#!/DocumentCard/378586/507146>. – Дата доступа: 21.09.2018.

2. Пожарная автоматика зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования. ТКП-45-2.02-317-2018. – Введ. 01.09.2018 [Электронный ресурс] / Нац. фонд ТНПА. – Режим доступа: <http://tnpa.by/#!/DocumentCard/395628/525125>. – Дата доступа: 21.09.2018.

3. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.1992. – Минск : Госстандарт, 2008. – 65 с.

УДК 004.942

МЕТОД СИНТЕЗА ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН В РЛС С ЛИНЕЙНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

Артемьев В.М., Наумов А.О., Кохан Л.Л.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Введение. В РЛС с линейным сканированием луча угловая разрешающая способность определяется шириной диаграммы направленности (ДН) антенны [1]. Традиционным путем ее увеличения является повышение размеров апертуры антенны [2], что ограничивается техническими возможностями. Достичь увеличения угловой разрешающей способности можно путем использования специальных методов обработки принятых сигналов, позволяющих синтезировать диаграмму направленности с желаемой шириной. Цель работы состояла в разработке метода синтеза диаграммы направленности в РЛС с линейным сканированием луча и амплитудной обработкой сигналов.

1. Формулировка задачи. Диаграмма направленности антенны РЛС с шириной луча 2γ изображена на рис. 1 сплошной кривой.

Полагаем, что сканирование осуществляется по часовой стрелке с центром в точке O и угловой скоростью ω° (градус/с), а положения оси ДН в дискретные моменты времени $k = 0, 1, 2, \dots$ показаны на рис. 1 штриховыми линиями для моментов $k-n, k-n+1, \dots, k$, где n – нечетное число положений оси в пределах угла 2γ . В качестве оси синтезированной ДН в момент k принимается направление, соответствующее моменту $0,5(k+1)\tau$, где τ – интервал времени между измерениями. В дальнейшем этот интервал полагается равным единице. Угловые положения ДН относительно этой оси в различные моменты времени обозначаются через $\alpha_i, i = \overline{1, n}$. Пусть направление прихода волны от объекта находится под постоянным углом ϑ . Функция, описывающая i -ю ДН, обозначается $f_i(\vartheta - \alpha_i)$, которая в частном случае может быть одинаковой для всех значений i . Эта функция полагается четной, т. е. $f(\vartheta - \alpha_i) = f(-\vartheta + \alpha_i)$, и нормированной $f(0) = 1$. Амплитуда сигнала на выходе линейного приемника имеет величину $u_i(\vartheta) = u f_i(\vartheta - \alpha_i)$, где u является амплитудой сигнала от объекта на входе.

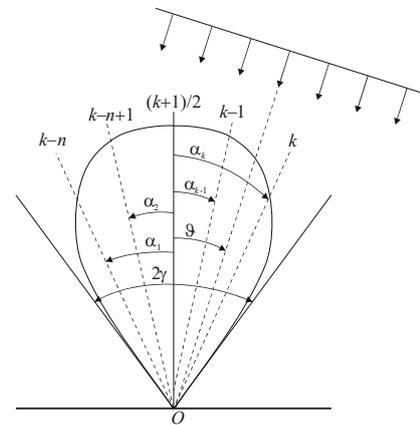


Рисунок 1 – Диаграмма направленности антенны РЛС и положения ее оси в дискретные моменты времени

Для получения синтезированной ДН обработка сигналов осуществляется за интервал времени n . Посредством цепочки из линий задержки на один интервал измерений, равный единице, накапливается n измерений (момент k на рис. 1). Каждый сигнал умножается на весовой коэффициент K_i и затем эти результаты суммируются, образуя итоговый сигнал $\sum_{i=1}^n K_i f_i(\vartheta - \alpha_i)$. Синтезированная диаграмма направленности (СДН) $F(\vartheta)$ определяется формулой:

$$F(\vartheta) = \sum_{i=1}^n K_i f_i(\vartheta - \alpha_i). \quad (1)$$

Задача исследования состояла в выборе коэффициентов K_i , удовлетворяющих определенному критерию оптимальности, обеспечивающему повышение угловой разрешающей способности.

2. Алгоритм синтеза диаграмм направленности. Решение поставленной задачи предполагает использование совокупности из n сигналов. Критерием оптимальности является условие минимизации функции потерь, учиты-

вающей необходимость получения СДН с шириной 2β меньшей, чем у исходной ДН, равной 2γ . Задача синтеза может быть решена методом наименьших квадратов [3]. В этом случае используется квадратичная функция потерь, состоящая из двух частей: квадратичной функции минимизации и линейных ограничений.

Предполагаем, что шумы на выходе приемника являются дискретным белым шумом статистически независимым в различные моменты времени k и одинаковыми дисперсиями. Тогда дисперсия белого шума на выходе схемы будет пропорциональна сумме квадратов весовых коэффициентов:

$$\delta^2 = \sum_{i=1}^n K_i^2. \quad (2)$$

Величина δ определяет изменение отношения сигнал/шум на выходе. В качестве квадратичной составляющей функции потерь можно выбрать функцию δ^2 , обеспечивающую минимизацию дисперсии шумов на выходе.

В дополнение к ней можно предложить ряд функций ограничений. Во-первых, для получения центрированной СДН ($F(9=0)=1$) необходимо выполнение равенства, вытекающего из формулы (1):

$$\sum_{i=1}^n K_i f_i(\alpha_i) = 1. \quad (3)$$

Ширину 2β будем определять расстоянием между ближайшими точками пересечения функции СДН нулевого уровня, т. е. между точками появления первых боковых лепестков. Тогда в качестве второго ограничения используется равенство:

$$\sum_{i=1}^n K_i f_i(\pm\beta - \alpha_i) = 0. \quad (4)$$

Минимизация квадратичной функции (2) при линейных ограничениях (3) и (4) осуществляется методом неопределенных множителей Лагранжа. В этом случае функция потерь принимает вид:

$$J(K) = \sum_{i=1}^n K_i^2 + \lambda_1 \left[\sum_{i=1}^n K_i f_i(\alpha_i) - 1 \right] + \lambda_2 \left[\sum_{i=1}^n K_i f_i(\beta - \alpha_i) \right] + \lambda_3 \left[\sum_{i=1}^n K_i f_i(-\beta - \alpha_i) \right], \quad (5)$$

где λ_1 , λ_2 , и λ_3 – неопределенные множители. Оптимальные весовые коэффициенты K_j находятся путем минимизации функции потерь (5) и имеют вид:

$$K_i = -\frac{1}{2} \left[\lambda_1 f_j(\alpha_j) + \lambda_2 f_j(\beta - \alpha_j) + \lambda_3 f_j(-\beta - \alpha_j) \right], \quad (6)$$

где множители λ задаются формулами:

$$\lambda_1 = -2 \left[a_n - \frac{c_n^2 d_n^2 - 2c_n d_n e_n g_n + b_n c_n e_n^2}{c_n (b_n c_n - g_n^2)} \right]^{-1};$$

$$\lambda_2 = -\lambda_1 \left(\frac{c_n d_n - e_n g_n}{b_n c_n - g_n^2} \right);$$

$$\lambda_3 = -\lambda_1 \frac{1}{c_n} \left(e_n - g_n \frac{c_n d_n - e_n g_n}{b_n c_n - g_n^2} \right).$$

Здесь используются следующие обозначения:

$$a_n = \sum_{i=1}^n f_i^2(\alpha_i); \quad b_n = \sum_{i=1}^n f_i^2(\beta - \alpha_i);$$

$$c_n = \sum_{i=1}^n f_i^2(-\beta - \alpha_i); \quad d_n = \sum_{i=1}^n f_i(\alpha_i) f_i(\beta - \alpha_i);$$

$$e_n = \sum_{i=1}^n f_i(\alpha_i) f_i(-\beta - \alpha_i);$$

$$g_n = \sum_{i=1}^n f_i(\beta - \alpha_i) f_i(-\beta - \alpha_i).$$

С учетом полученных значений λ оптимальные весовые коэффициенты находятся по формулам (6), что обеспечивает минимальное значение дисперсии шумов и ширину СДН, равную 2β . Однако следует отметить, что в результате синтеза отношение сигнал/шум на выходе по отношению к этой величине на входе каждого канала уменьшится в δ раз и, кроме того, увеличится амплитуда боковых лепестков СДН. При этом измерения угловых координат происходят с запаздыванием на время $\gamma \cdot \omega$. Эти факторы являются «платой» за повышение угловой разрешающей способности.

Заключение

Предложенный метод позволяет синтезировать диаграммы направленности антенн с заданной шириной в РЛС с линейным сканированием луча и амплитудной обработкой сигналов. Это достигается путем многоканальной обработки сигналов с последовательным их измерением в процессе сканирования. Сигналы на выходе каналов взвешиваются посредством весовых коэффициентов и затем суммируются, образуя синтезированную диаграмму направленности. Метод синтеза основан на оптимальном выборе весовых коэффициентов по критерию минимума дисперсии шумов на выходе при заданной ширине диаграммы направленности. Решение поставленной задачи приводит к уменьшению отношения сигнала к шумам и росту амплитуд боковых лепестков диаграммы направленности.

Литература

1. Справочник по радиолокации : в 2 кн. / под ред. М.И. Скольника. – М. : Техносфера, 2014. – Кн. 1. – 672 с.
2. Монзинго, Р.А. Адаптивные антенные решетки / Р.А. Монзинго, Т.У. Миллер. – М. : Радио и связь, 1986. – 448 с.
3. Фомин, В.Н. Рекуррентное оценивание и адаптивная фильтрация / В.Н. Фомин. – М. : Наука, 1984. – 288 с.