СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЛУЧЕВОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АДАПТИВНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Семёнов М.И.
Научный руководитель – к. ф-м. н. Рыбалко А. М.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Основ радиотехники, тел. (057) 702-14-30),

We propose a new functional form for the multi-beam radiation pattern of adaptive antenna array

В последнее время появился значительный интерес к формированию многолучевых диаграмм направленности (ДН) антенных решеток (АР), имеющих два или более максимумов. С одной стороны, подобные ДН могут быть использованы в радиолокационных системах, для ускорения обзора пространства, а с другой стороны – в системах связи, подверженных многолучевому распространению сигналов, например при организации мобильной связи в горных условиях либо в пересеченной местности. Существующие в настоящее время методы формирования многолучевой ДН решетки используют мультипликативный функционал [1], представляющий собой отношение двух положительно определенных эрмитовых форм, оптимизация которого осуществляется методом градиентного спуска. Причем сходимость и скорость сходимости метода полностью зависят от удачного выбора множителя итерационного процесса.

Предлагается метод, который основан на представлении отношения мощностей полезного сигнала к сумме мощностей помехи и шума, как функционала N-мерного комплексного унитарного пространства H:

$$Q\left(\vec{W}\right)=\frac{P_c}{P_П}\cdot\frac{\left|\left(\vec{V}_c,\vec{W}\right)\right|}{\left(R_{xx}\vec{W},\vec{W}\right)},$$

где $\vec{V}_c=\left(i\bar{\theta}_c,i2\bar{\theta}_c,..,iN\bar{\theta}_c\right)$ – вектор запаздывания сигнала ($\bar{\theta}_c=2\pi\frac{d}{\lambda}\cos\theta_c$); $\frac{d}{\lambda}$ – шаг линейной эквидистантной решетки; θ_c – угол между направлением прихода сигнала и осью линейной решетки; $\vec{W}$ – вектор весовых коэффициентов (ВВК); $(\bullet,\bullet)$ – скалярное произведение унитарного пространства H; R_{xx} – корреляционная матрица помехового и шумового сигналов.

Максимум функционала $Q\left(\vec{W}\right)$ достигается на ВВК, который определяется уровнением Винера-Хопфа:

$$R_{xx}\vec{W}_{opt}=\vec{V}_c.$$

На оптимальном ВВК диаграмма направленности антеннной решетки

формирует максимум в направлении, определяемом вектором $\vec{V_c}$. Представление вектора $\vec{V_c}$ в виде суммы двух векторов $\overline{V_c^{(1)}} + \overline{V_c^{(2)}}$ и более, позволяет формировать два и более максимума. Так как матрица корреляционная R_{xx} положительно определенная в силу наличия собственных шумов, то нахождение оптимальных весовых коэффициентов осуществляется с помощью итерационного процесса

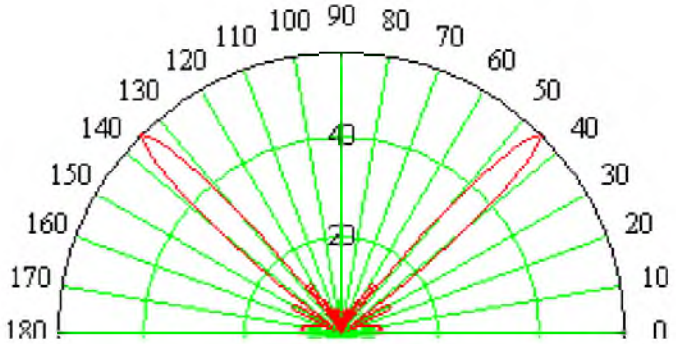
$$\vec{W}(n+1) = \frac{2}{\lambda_{\min} + \lambda_{\max}} \left(R_{xx} \vec{W}(n) - \vec{V_c} \right), \qquad (1)$$

сходящего со скоростью не меньше скорости сходимости геометрической прогресси. Минимальное $\lambda_{\min}$ и максимальное $\lambda_{\max}$ собственные числа корреляционной матрицы R_{xx} определяются несколькими итерациями с достаточной точностью предложенной простой итерационной процедурой:

$$\lambda_{\max}(n) = \frac{\left(\vec{X}(n+1), \vec{X}(n) \right)}{\left(\vec{X}(n), \vec{X}(n) \right)},$$

где $\vec{X}(n+1) = R_{xx} \vec{X}(n)$, а в качестве начального вектора можно взять любой не тривиальный вектор, например $\vec{X}(0) = (1, 0, \ldots, 0)$.

Если из диагональных элементов вычесть достаточно большое положительное число, то задача отыскания $\lambda_{\min}$ сводится к задаче нахождения $\lambda_{\max}$.



Для иллюстрации возможностей предложенного алгоритма была использована модель 19-ти элементной АР ненаправленных излучателей, расположенных с шагом $\frac{d}{\lambda} = 0,5$. На приведенном рисунке показан пример формирования двохлучевой ДН в направлениях $\theta_c^{(1)} = 45°$ и $\theta_c^{(2)} = 135°$.

Проведенные исследования формирования многолучевых ДН предложенным способом в зависимости от количества элементов антенной решетки показали высокую эффективность метода. Так для нахождения собственных значений корреляционной матрицы АР, состоящей из десятков элементов, достаточно было провести 8 – 12 итераций. Скорость сходимости итерационного процесса (1) была близка к экспоненциальной.

1.Башлы П.Н., Богданов В.М. Нейросетевой метод решения задач оптимизации энергетических параметров антенных решеток. – Нейрокомпьютеры: разработка и применение, 2002, №11.