

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОНОИМПУЛЬСНОГО ПЕЛЕНГАТОРА НА БАЗЕ КВАДРАНТНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

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

Козлов С.В., Нехаичик А.Д.

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Рассматривается алгоритм пеленгации источника полезного сигнала в моноимпульсном пеленгаторе на базе квадратной антенной решетки на основе нейронной сети с прямыми связями. Отличительной особенностью алгоритма является использование в качестве входной информации модулей и фаз элементов нормированной верхнетреугольной корреляционной матрицы процессов на выходах приемных каналов. Приводятся результаты сравнительного анализа точности пеленгации полезного сигнала, достигаемой при использовании нейросетевого и статистического алгоритмов функционирования.

Обеспечение высокой помехоустойчивости моноимпульсных пеленгаторов средств радиолокации и радиомониторинга достигается за счет внедрения оптимальных и квазиоптимальных алгоритмов обработки принимаемых сигналов. К ним относятся алгоритмы пространственной компенсации помех, воздействующих по боковым и скатам главного лепестка диаграмм направленности основных каналов пеленгатора [1], и алгоритмы, реализующие современные методы «сверхразрешения» источников радиоизлучения [2]. К наиболее сложным следует отнести задачу обеспечения помехоустойчивости относительно малоэлементных антенных систем, в частности, квадратной антенной системы, полученной разделением общей антенной решетки на четыре подрешетки или при использовании четырех идентичных независимых антенн.

Весьма перспективным для моноимпульсной пеленгации является внедрение нейросетевых алгоритмов обработки сигналов, обладающих способностью к выявлению скрытых закономерностей и естественным вычислительным параллелизмом [3].

При обосновании алгоритма использовались следующие исходные данные и допущения. Рассматривается квадратная антенная решетка, полученная разбиением общей, для определенности, круглой, антенной решетки на четыре идентичные подрешетки – квадранты 1.1-1.4, представляющие собой парциальные приемные каналы с диаграммами направленности (ДН) $\hat{F}_i(\alpha, \beta)$, $i = \overline{1,4}$ (рис. 1). Необходимо построить нейросетевой алгоритм (НА), обеспечивающий пеленгацию источника полезного сигнала в пределах главного лепестка ДН парциальных каналов при наличии источников помех, воздействующих по боковым лепесткам ДН парциальных каналов. Для выявления принципиальной возможности построения НА и основных закономерностей ограничимся случаем наличия единственного источника помех по боковым лепесткам.

Обоснование НА включает определение входных и выходных данных, структуры и алгоритмов обучения нейросети (НС). При этом, фактором, в значительной степени определяющим возможность построения, обучения и качественные характеристики нейросетевого алгоритма, являются его входные данные. С учетом особенностей обработки в нейронных сетях в качестве входной информации предлагается использовать модули и фазы элементов обратной корреляционной матрицы процессов на выходах приемных каналов (рис. 1), нормированные к сумме диагональных элементов (модули) и единицы (фазы).

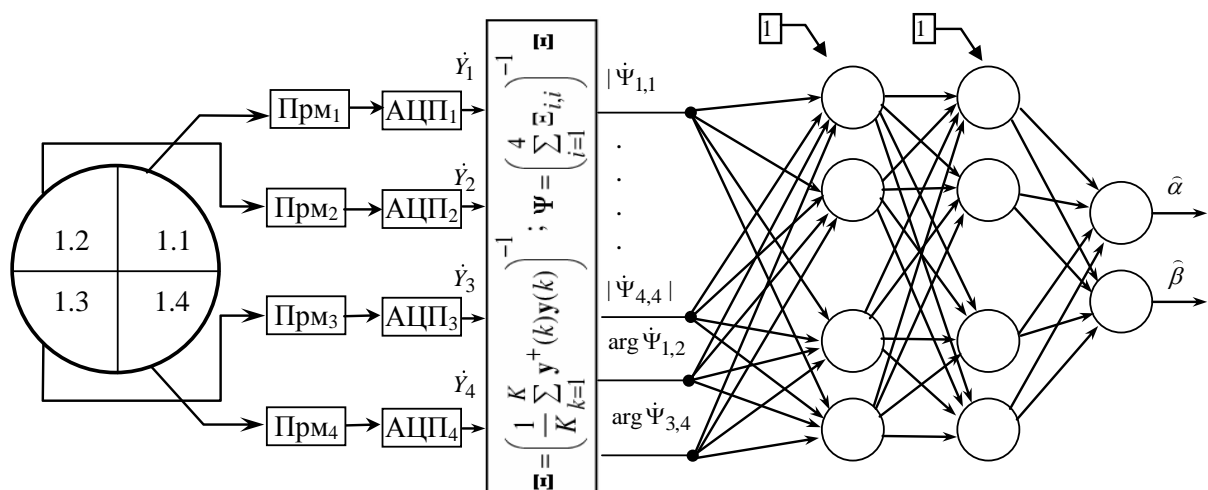


Рис. 1 - Структуры приемной системы и НС для пеленгации источника полезного сигнала

В работе исследовалась сеть в виде многослойного перцептрона. Для создания и обучения сети использовался инструмент NNTool пакета MathLab. Входные данные НС формировались для квадратной антенной решетки диаметром $D/\lambda = 10$. Число приемных элементов в квадранте антенной решетки

составляло 75, ширина ДН квадранта по уровню 0,5 от максимальной мощности при этом составило $\Delta\alpha_{0,5} = \Delta\beta_{0,5} = 6^\circ$. Входные данные, используемые для обучения сети формировались путем последовательного перемещения углового положения источника полезного сигнала в сетке по азимуту и углу места от -3° до 3° с шагом $0,5^\circ$ для мощности источника полезного сигнала $P_c = 0,1; 1; 10$ и последовательного перемещения углового положения источника помехи в сетке по азимуту и углу места от $\alpha(\beta)_\Pi^{\min}$ до $\alpha(\beta)_\Pi^{\max}$ с шагом $\delta\alpha(\beta)_\Pi$ для мощности источника помехи $P_\Pi = 30; 40; 50$ дБ. Для обучения использовался стандартный метод Левенберга-Марквардта при числе эпох обучения 1000-10000.

На рисунке 2 приведены результаты обучения НС в виде зависимости оценок азимута источника полезного сигнала для обучающей выборки. НС имела по 24 нейрона в двух скрытых слоях. Для обучения использовалось 5000 эпох при $\alpha_\Pi^{\min} = 20^\circ, \alpha_\Pi^{\max} = 22^\circ, \beta_\Pi^{\min} = 15^\circ, \delta\alpha(\beta)_\Pi = 0,5^\circ, \beta_\Pi^{\max} = 17^\circ$. Жирной ступенчатой линией показаны истинные азимуты полезного сигнала для соответствующего образца эпохи обучения. Достигнутое за заданное число эпох обучения значение среднеквадратической ошибки по обучающей выборке составило $\sigma_\alpha = 0,04^\circ$. При увеличении числа эпох ошибка может быть уменьшена.

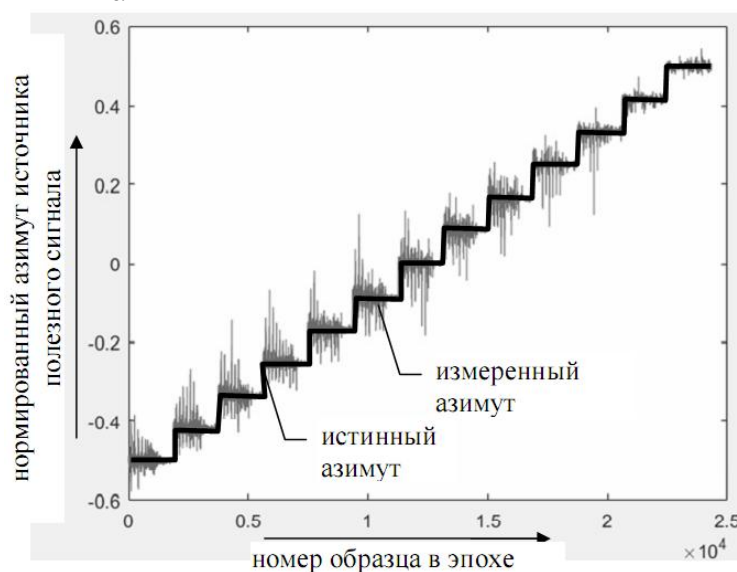


Рис. 2 – Результаты обучения нейронной сети

Точности пеленгации, достигаемые в предлагаемом нейросетевом алгоритме и известном статистическом алгоритме [4] для аналогичных условий функционирования оказываются сравнимыми и составляют 2...3% от ширины главного лепестка ДН приемных каналов.

Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности использования нейросетевых алгоритмов обработки сигналов в моноимпульсных пеленгаторах в условиях интенсивных помех по боковым лепесткам диаграмм направленности приемных каналов. Рациональным является использование в качестве входной информации нормированных элементов оценки обратной корреляционной матрицы процессов на выходе приемных каналов в верхнетреугольном представлении. Полученные результаты могут быть естественным образом распространены на пеленгаторы с многоканальными антенными системами, в том числе, при реализации сверхразрешения источников радиоизлучения в пределах главного лепестка ДН.

Список использованных источников:

1. Карпунин В.И., Козлов С.В., Сергеев В.И. Синтез вариантов структуры радиолокационных измерителей угловых координат с адаптивной пространственной компенсацией помех // Антенны, 2010, № 6. – С. 71-76.
2. Ратынский М.В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках. М.: Радио и связь, 2003. – 200 с.
3. Татузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. М.: Радиотехника, 2009. – 432 с.
4. Козлов С.В., Сергеев, В.И., Семенякин Д.О. Способ пространственной компенсации помех в моноимпульсном пеленгаторе на базе квадратной антенной решетки // Антенны, 2017, № 6. – С. 45-51.