

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ПЕЛЕНГАЦИИ ПОЛЕЗНЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ МОЩНОЙ ПОМЕХИ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМЕ

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

Ле Ван Кыонг

Козлов С.В. – д.т.н., доцент

Применительно к задаче пеленгации источника полезного сигнала на фоне мощной помехи предложено применение ансамбля нейронных сетей (НС), ведущая из которых обучается для пеленгации мощной помехи, а ведомые – для пеленгации источника полезного сигнала в заданном секторе при различных фиксированных угловых положениях мощной помехи. Результирующая оценка формируется путем выбора результатов одной из ведомых НС по результатам оценивания углового положения источника помехи в ведущей. Приводятся результаты анализа точности пеленгации полезного сигнала и ориентировочного выигрыша в размерности НС и времени их обучения.

Задача высокоточной пеленгации источников полезных сигналов является одной из основных в радиолокации, радиомониторинге и в некоторых радионавигационных приложениях. В значительном числе случаев пеленгация слабых полезных сигналов должна быть обеспечена на фоне внешних помех, мощность которых на десятки дБ превышает мощность полезного сигнала.

Алгоритм [1] обеспечивает качество пеленгации, сравнимое со статистическими оптимальными алгоритмами. К его основному недостатку относится необходимость увеличения числа нейронов в скрытых слоях при расширении области возможного нахождения источника мощной помехи с соответствующим увеличением времени обучения. Это обстоятельство существенно ограничивает возможность практического применения [1]. В работе [2] предложен двухэтапный алгоритм работы пеленгатора с применением искусственной нейронной сети для беспомеховых условий, предполагающий последовательное определение сектора углов возможного нахождения источника единственного полезного сигнала с использованием НС первого уровня и точных оценок пеленга с использованием НС второго уровня.

Целью настоящей работы является развитие подхода [1] с учетом [2] в направлении обеспечения возможности его практической реализации для типовых условий функционирования пеленгационных систем.

Возможные структуры ансамблей нейронных сетей приведены на рисунке 1. Там же указаны основные расчетные соотношения для формирования входных данных для ансамбля нейронных сетей. Входная НС-1 является ведущей и обучается для пеленгации мощной помехи. Формируемые оценки $(\hat{\alpha}_П, \hat{\beta}_П)$ угловых координат источника помехи используются для выбора результатов обработки входной реализации ведомыми НС-2.1... НС-2.N, где N – число возможных угловых положений помехи. Вся информация пространственно-энергетических характеристиках воздействующих источников излучения «сжата» в выборочную корреляционную матрицу $\hat{\Phi}$ процессов на выходах приемных каналов. Матрица $\hat{\Phi}$ формируется из $k=1, \overline{K}$ отсчетов сигналов $\mathbf{y}(k) = (y_1(t_k), y_2(t_k), \dots, y_N(t_k))^T$ на выходах приемных каналов в моменты времени $t_k = k\Delta t$. Сформированная оценка регуляризуется путем прибавления к ней матрицы $\mu_p \mathbf{I}$, где μ_p - параметр регуляризации; \mathbf{I} - единичная матрица.

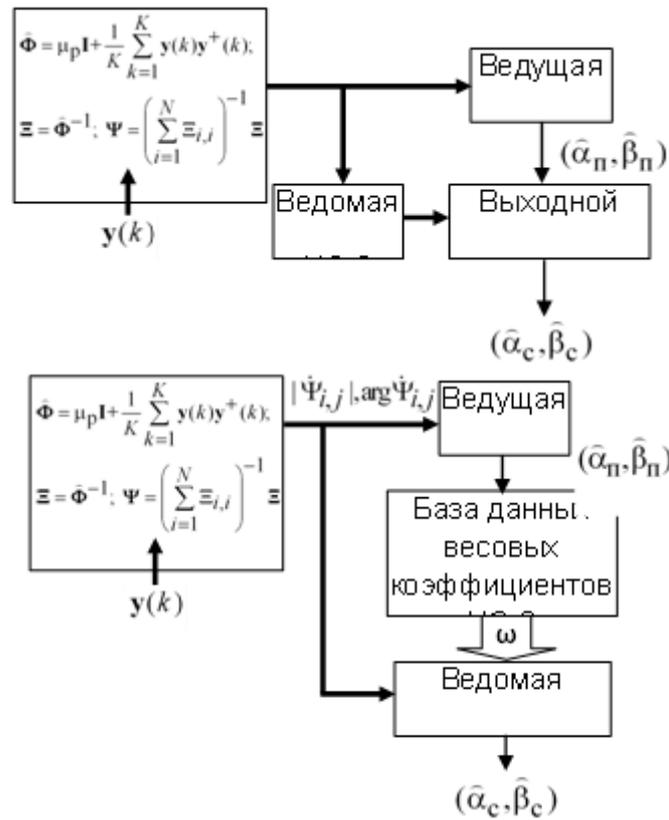


Рисунок 1. Возможные структуры ансамблей нейронных сетей

Преимуществом предлагаемого ансамбля нейронных сетей в сравнении с единственной НС [1] является сокращение требуемой размерности всех ведомых НС и времени их обучения.

Основным содержанием исследований по оптимизации структуры НС являлось определение минимально необходимой размерности НС-2 и их числа.

Входные сигналы НС формировались для антенной решетки, включающей 3 на 3 изотропных приемных элемента, размещаемых через половину длины волны. Для исходной одиночной НС [1], имеющей по 24 нейрона в каждом из двух скрытых слоев, и угловом секторе помехи $4^\circ \times 3^\circ$ время обучения НС составило около 8 часов при среднеквадратической ошибке пеленгации по тестовой выборке $0,34^\circ$. Попытки дальнейшего увеличения числа угловых положений источника помех при сохранении числа нейронов в скрытых слоях приводят к существенному увеличению ошибки обучения, которая не может быть скомпенсирована увеличением времени обучения. Аналогично, при увеличении числа нейронов в скрытых слоях время обучения увеличивается до нереализуемых на практике значений. Таким образом, возможности практической реализации нейронной сети [1] ограничены случаем, когда угловая область возможного нахождения источника помехи относительно невелика.

Для ансамбля нейронных сетей обучение НС-1 проводилось для случая использования в каждом из двух скрытых слоев НС-1 по 12 нейронов, а в каждом из двух скрытых слоев НС-2 по 3, 5 и 8 нейронов.

На рисунке 2 приведены результаты работы обученного ансамбля НС (по 5 нейронов в скрытых слоях). Угловые положения азимута α_c источника полезного сигнала изменялись в пределах $-3^\circ \dots 3^\circ$ (пунктирная кривая) при угловом секторе помехи, увеличенном до $10^\circ \times 3^\circ$. Маркерами показаны оценки $\hat{\alpha}_c$ азимута полезного сигнала, формируемые ансамблем НС для контрольной выборки для соответствующих нормированных мощностей P_c полезного сигнала на выходе приемного элемента. Оценки $(\hat{\alpha}_p, \hat{\beta}_p)$ угловых координат источника помех, формируемые НС-1, во всех случаях приводили к правильному выбору ведомой НС-2. Результаты пеленгации в угломестной плоскости аналогичны. Число ведомых НС-2 для рассматриваемой ситуации составило 30, достаточное число эпох обучения ведомых НС-2 порядка 100...150 при времени обучения около 1 минуты.

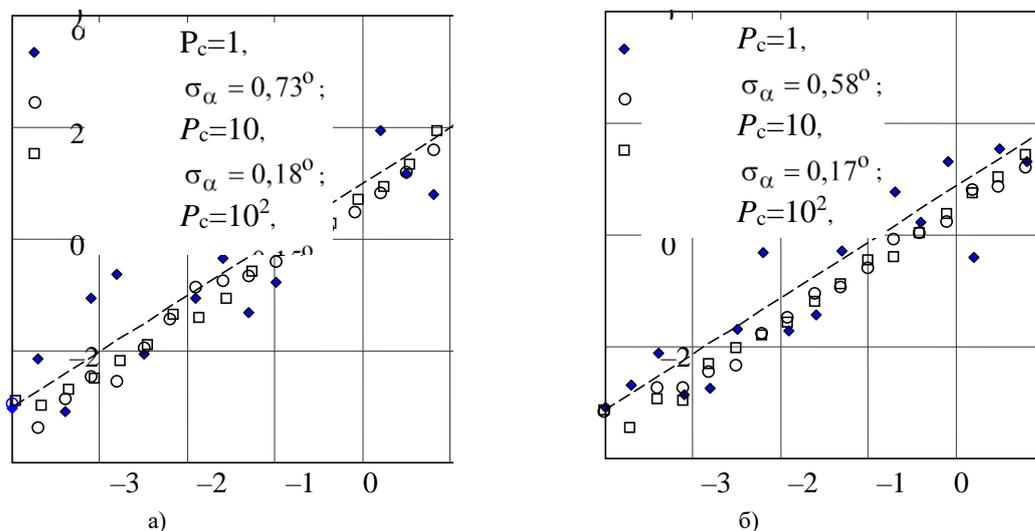


Рисунок 2. Оценки углового положения полезного сигнала, формируемые ансамблем НС для двух (а,б) различных угловых положений источника помехи

Проведенные исследования подтверждают возможность построения двухэтапного нейросетевого алгоритма пеленгации полезного сигнала на фоне мощной помехи без ограничений на угловые размеры области возможного нахождения источника помехи и могут быть использованы, например, при построении малоэлементных пеленгаторов средств радиомониторинга.

Список использованных источников

1. Козлов С. В. Обработка сигналов малоэлементного моноимпульсного пеленгатора в условиях мощных помех с использованием искусственных нейронных сетей // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. 2018, № 5. – С. 31-37.
2. Аверьянов А.В., Строцев А.А. Двухэтапный алгоритм работы пеленгатора с применением искусственной нейронной сети // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2018, т. 4, № 1. – С. 185-190.