
**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.039.5

**АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ПО ФАЗЕ
ПРИЕМОИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ
ИСКАЖЕНИЯ ФАЗЫ ВЫБОРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

© 2016 Нгуен Данг Тао

*Московский физико-технический институт
(государственный университет), Москва, Россия*

В работе рассмотрена адаптация системы синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов методом сравнения с эталоном, в условиях искажения фазы эталона. Для компенсации искажения фазы эталона использовано представление системы в виде искусственной нейронной сети, с последующим её обучением. Представление систем и устройств в виде искусственных нейронных сетей используют для решения различных задач. Такое представление дает возможность применения методов оптимизации параметров, использующихся в искусственных нейронных сетях, для оптимизации параметров, представляемых в виде них систем или устройств. При этом состав оптимизируемых параметров определяется выбором конфигурации искусственной нейронной сети. Показано, что при представлении системы синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов в виде искусственной нейронной сети с нелинейностью, соответствующей определению модуля комплексного числа, система может адаптироваться методом сравнения с эталоном в условиях искажения фазы обучающих выборок, за счет применения в качестве эталона только модуля эталонного сигнала.

Ключевые слова: система приемоизлучающих объектов, адаптация методом сравнения с эталоном, адаптивная антенная решетка, искусственная нейронная сеть.

Поступила в редакцию 10.12.2016

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразные системы, представляющих собой объединение приемоизлучающих объектов, в настоящее время получают все большее распространение. Это как системы стационарных объектов, например сети датчиков, так и системы перемещающихся объектов, например, объединения роботов. Объединение пространственно разнесенных объектов в систему позволяет улучшить суммарные характеристики объединения по сравнению с суммарными характеристиками объектов, не связанных между собой.

Отдельный класс систем приемоизлучающих объектов представляют системы из объектов, приемопередатчики которых синхронизированы по фазе. Приемопередаточная аппаратура, установленная на каждом из объектов, имеет ограниченные возможности по излучаемой мощности и пространственной селекции в связи с требованиями минимальной массы и габаритов объекта. Синхронизация приемопередатчиков объектов по фазе при объединении объектов в систему позволяет расширить возможности приемопередаточной аппаратуры. При этом снимаются имевшиеся ранее

ограничения, связанные с энергопотреблением, массой и габаритами отдельного объекта. В результате синхронизации по фазе может быть сформирована оптимальная пространственная диаграмма направленности (ДН) приема и излучения системы. В качестве основных параметров формируемой ДН могут быть заданы направление главного максимума, соответствующее направлению прихода полезного сигнала, и направления минимумов, соответствующие направлениям прихода помех. Формирование системы приемоизлучающих объектов с оптимальными параметрами ДН, в общем случае, может осуществляться как с использованием классических методов синтеза¹, так и с использованием методов адаптивных антенн².

Перспективным направлением развития систем приемоизлучающих объектов являются системы из объектов со случайными или изменяющимися координатами объектов. Системы из случайно расположенных приемоизлучающих объектов с самостоятельными источниками питания интересны с точки зрения легкости доставки в труднодоступные районы, с использованием сброса с воздушных носителей, а системы из объектов с изменяющимися координатами соответствуют группам подвижных объектов. Для таких систем координаты объектов изначально неизвестны, поэтому оптимизация параметров ДН с использованием синтеза классическими методами и частью адаптивных методов не может применяться. Тем не менее, существует группа методов адаптации, для реализации которых не требуется информация о координатах объектов адаптивной системы (АС). Такие методы могут применяться для синтеза антенн с заданными ДН³ и пригодны для оптимизации параметров систем синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов.

В настоящей статье рассмотрена система приемоизлучающих объектов, осуществляющая адаптацию методом сравнения с эталоном, представленная в виде искусственной нейронной сети. Представление систем и устройств в виде искусственных нейронных сетей используют, например, для оптимизации параметров линий передач⁴ или антенных решеток⁵. Подобное представление позволяет, за счет выбора нужной конфигурации нейронной сети, применять критерии оптимизации, требующиеся для решения конкретных задач.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ПО ФАЗЕ ПРИЕМОИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ В ВИДЕ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Структурная схема системы, реализующей адаптацию по критерию минимального среднеквадратического отклонения сигнала на выходе системы от заданного эталонного, показана на рисунке 1.

Сигналы от M источников излучения S , после умножения на матрицу коэффициентов распространения H поступают на входы N приемников объектов и подаются на усилители высокой частоты (УВЧ), служащие также в качестве узкополосного фильтра. На выходе УВЧ n -го приемника формируется комплексный сигнал

¹ Сазонов Д.М. Многоэлементные антенные системы. – М: Издательство «Радиотехника», 2015.

² Адаптивные антенные решетки. Учебное пособие в 2-ух частях. / Под ред. В.А. Григорьева. – СПб: Университет ИТМО, 2016.

³ Хабаров А.В. Объединение антенн с неизвестными координатами в антенную решетку // Антенны. - 2006. - № 11. – С. 7–11.

⁴ Сейдл П., Тауфер И. Модель короткозамкнутой щелевой линии в виде искусственной нейронной сети// Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2009. – №5. - С. 57–61.

⁵ Татузов А.Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. – М: Издательство «Радиотехника», 2009.

$$x_n = \sum_{m=1}^M h_{nm}(t) S_m + \xi_n, \quad (1)$$

где ξ_n – внутренний шум в n -м приемнике,

$h_{nm}(t)$ – комплексный коэффициент передачи сигнала от m -го источника n -у приемнику, в общем случае, зависящий от времени,

S_m – комплексная огибающая m -го сигнала.

После подачи сигналов x_i на вход ДОС, на её выходе формируются выходные сигналы y_j , из которых формируется вектор Y :

$$Y = WX, \quad (2)$$

где W – матрица векторов весовых коэффициентов (ВВК),

X – вектор сигналов на выходах приемников.

Матрица ВВК в (3) состоит из набора ВВК, каждый из которых соответствует своему выходу y_j .

В вычислитель приращений на этапе обучения вводятся вектор эталонных сигналов Y_0 , вектор выходных сигналов ДОС Y , Y_0 и Y сравниваются, и в результате вырабатываются поправки к весовым коэффициентам ДОС.

Функционал $\Phi(W)$, минимизируемый при осуществлении адаптации по данному критерию, имеет вид

$$\Phi(W) = |Y - Y_0|^2. \quad (3)$$

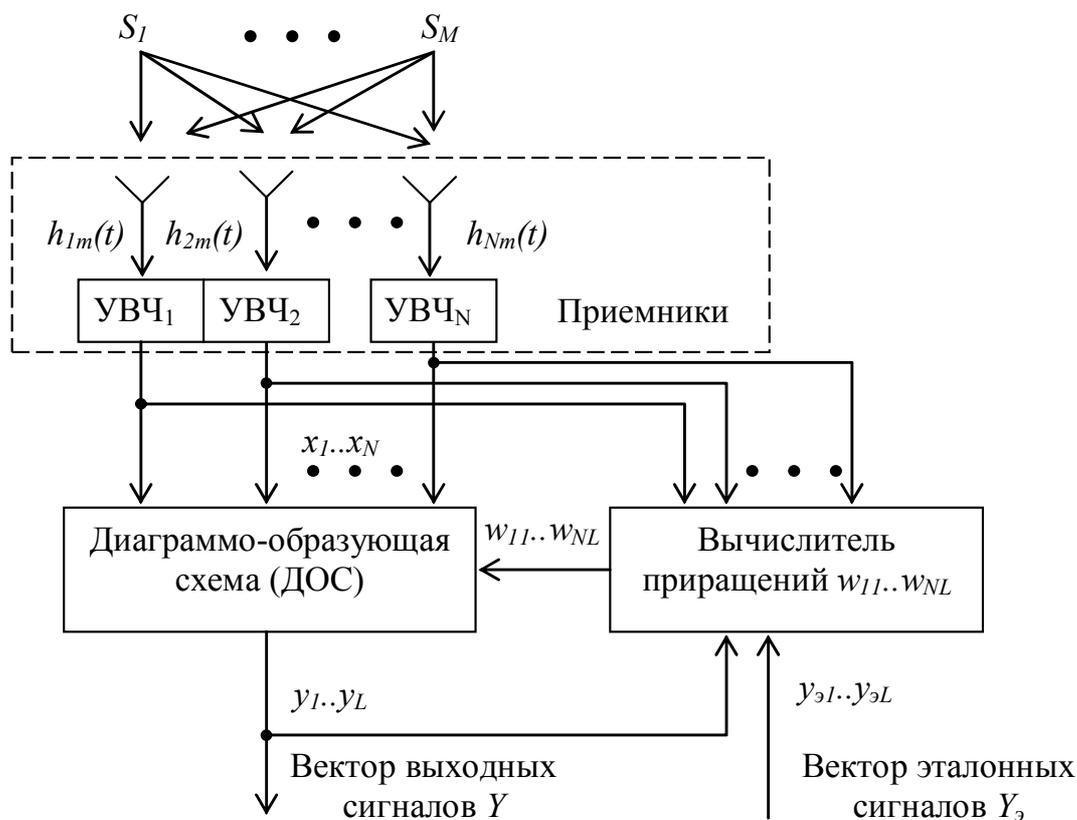


Рис. 1. – Адаптивная система с использованием критерия минимального среднеквадратического отклонения сигнала на выходе АС от заданного эталонного

Удовлетворяющая условию (3) матрица ВВК может быть найдена разными способами.

Если матрица ВВК находится градиентным методом наименьших квадратов, то подстройка ВВК проводится по следующим формулам:

$$\Delta W = 2\mu \cdot [Y_s - Y] \cdot X^* . \quad (4)$$

Подстройка ВВК проводится до достижения заданных значений ошибки рассогласования между вектором сигналов на выходе АС Y и вектором эталонных сигналов Y_s :

$$Err = \frac{1}{Nr} \cdot \sum_{n=1}^{Nr} |Y_{s,n} - Y_n|^2 , \quad (5)$$

где Nr – количество обучающих случаев.

Обучение прекращается, если весовые коэффициенты достигли значений, при которых среднеквадратическая ошибка рассогласования стала меньше заданной.

Искусственные НС представляют собой совокупности однотипных элементов (формальных нейронов), которые показаны на рисунке 2:

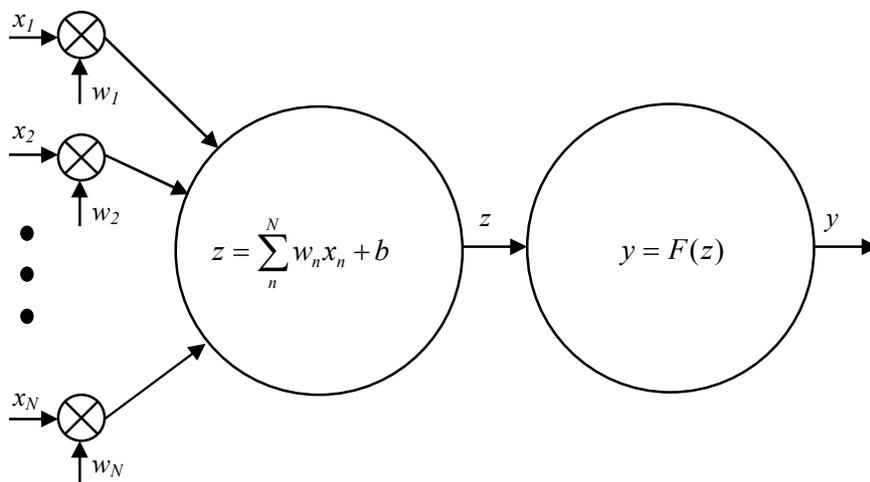


Рис. 2. – Формальный нейрон

В формальном нейроне входные воздействия $x_1 \dots x_n$ умножаются на весовые коэффициенты $w_1 \dots w_n$, после чего суммируются. К полученному значению добавляется смещение b и применяется нелинейная функция $F(z)$.

Выходное значение формального нейрона y вычисляется по формуле:

$$y = F\left(\sum_{n=1}^N w_n \cdot x_n + b\right)$$

Наиболее часто используются модели нейронов с нелинейностями в виде сигмоиды, гиперболического тангенса, пороговой функции⁶.

Модель адаптивной системы синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов, изображенная на рисунке 2, по структуре схожа с искусственной НС без нелинейных элементов (слоем Гроссберга). Вид нейрона слоя Гроссберга показан на рисунке 3.

Представив входные воздействия формальных нейронов, составляющих слой, и их весовые коэффициенты в виде векторов и матриц: вектор входных воздействий X умножается на матрицу из векторов весовых коэффициентов W , без учета смещения b и

⁶ Тархов Д.А. Нейросетевые модели и алгоритмы. - М: Издательство «Радиотехника», 2014.

нелинейной функции, получим выражение для выходного сигнала слоя формальных нейронов, идентичное выражению (2) $Y=WX$.

Выражения для изменения весов, при которых происходит уменьшение отклонения сигнала на выходе нейросети от заданного эталонного, можно определить, продифференцировав суммарную квадратичную ошибку по значению весов. Подставив в выражение для суммарной квадратичной ошибки разность сигнала на выходе слоя Гроссберга и эталонного сигнала:

$$E = \sum_{n=1}^{Nr} \sum_{j=1}^M (y_{jn} - y_{эjn})^2, \quad (6)$$

где Nr – число обучающих случаев,
 M – число выходов нейронной сети.

Продифференцируем суммарную ошибку по значению весов с использованием выражения для производной сложной функции и получим, что подстройка элементов w_{ij} проводится по формулам:

$$\Delta w_{ij} = -k \cdot \sum_{n=1}^{Nr} (y_{jn} - y_{эjn}) \cdot x_{in}, \quad (7)$$

где k – коэффициент пропорциональности,
 Nr – число обучающих случаев,
 y_{jn} – элементы вектора Y , который появляется на выходе сети при появлении на ее входе вектора X n -й обучающей реализации
 $y_{эjn}$ – элементы вектора $Y_{э}$, который должен появляться на выходе сети при появлении на ее входе вектора X n -й обучающей реализации.

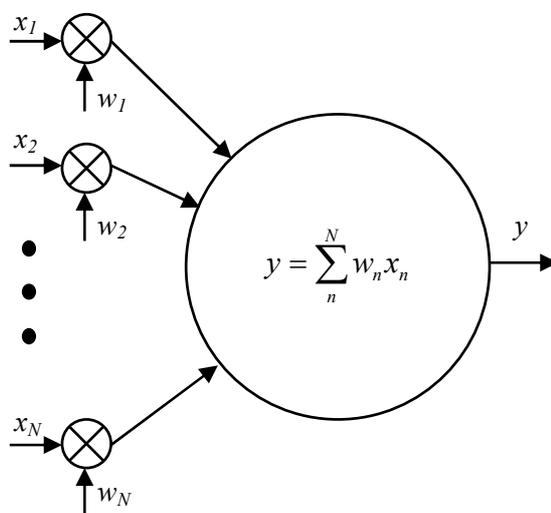


Рис. 3. – Формальный нейрон без учета смещения и нелинейной функции

Выражение (7) получено без учета комплексности входных воздействий и весовых коэффициентов. При учете комплексности сигналов и матрицы ВВК, преобразования дают выражение, аналогичное формуле (4), которая получена для адаптации АС по критерию минимального среднеквадратического отклонения сигнала на выходе АС от заданного эталонного. Вид получаемой при учете комплексности весов и входных воздействий искусственной нейронной сети показан на рисунке 5.

Элементы x_i комплексного вектора входных сигналов X первоначально взвешиваются путем умножения на элементы w_i комплексного вектора весовых коэффициентов W . Далее, действительные и мнимые части полученных произведений раздельно суммируются по формулам:

$$y1 = \sum_i \operatorname{Re} x_i \cdot \operatorname{Re} w_i - \sum_i \operatorname{Im} x_i \cdot \operatorname{Im} w_i$$

$$y2 = \sum_i \operatorname{Re} x_i \cdot \operatorname{Im} w_i + \sum_i \operatorname{Im} x_i \cdot \operatorname{Re} w_i$$
(8)

что соответствует правилам умножения и сложения комплексных чисел. Образуется две суммы взвешенных входных сигналов на выходах Нейрона 1 и Нейрона 2. Выходные сигналы нейронов первого слоя y_1 и y_2 суммируются с фиксированными реальным $w1=1$ и мнимым $w2=1i$ весовыми коэффициентами второго слоя. Полученная сумма y представляет собой комплексный выходной сигнал Нейрона 3.

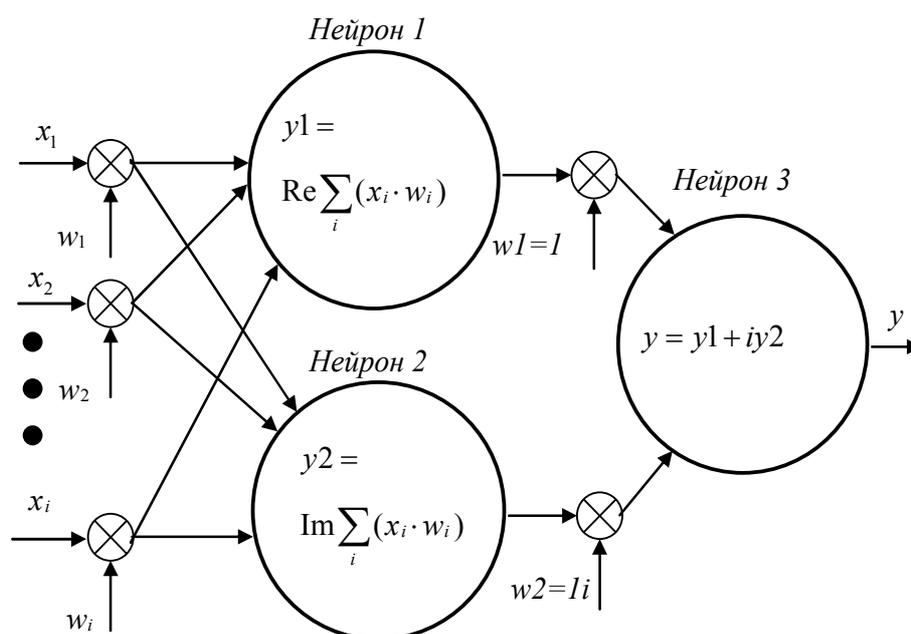


Рис. 5. – Система синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов в виде искусственной нейронной сети

Представление системы синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов в виде искусственной НС, изображенной на рис. 5 расширяет возможности оптимизации параметров системы за счет возможности формирования конфигурации НС под конкретную задачу. Выходные сигналы нейронов 1-3 могут формироваться с использованием нелинейных функций, соответствующих, например, амплитудному или фазовому детектированию и другим. Процедура подстройки весовых коэффициентов при этом может быть определена аналогично известным процедурам подстройки весовых коэффициентов в искусственных нейронных сетях с нелинейностями.

СТРУКТУРА НЕЙРОННОЙ СЕТИ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ АДАПТАЦИИ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ПО ФАЗЕ ПРИЕМОИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ИСКАЖЕНИЯ ФАЗЫ ЭТАЛОННОГО СИГНАЛА

Для осуществления подстройки весовых коэффициентов по формулам вида (4), в качестве эталона необходимо задавать как амплитуду, так и фазу принимаемого полезного сигнала. Сравнение с эталоном, сформированным с использованием, как

амплитуды, так и фазы полезного сигнала, предполагает стабильность разности фаз принимаемого полезного сигнала и задающего генератора приемника во время формирования обучающей выборки, иначе обучающая выборка не будет соответствовать полезному сигналу. Фаза принимаемого полезного сигнала во время формирования обучающей выборки может изменяться в результате доплеровского сдвига принимаемого сигнала, изменения характеристик канала распространения и других факторов. Требование высокой стабильности разности фаз принимаемого полезного сигнала и задающего генератора приемника во время формирования обучающей выборки ограничивает область применения метода и снижает качество адаптации.

Для устранения этого недостатка может быть применена искусственная нейронная сеть с нелинейностью, позволяющей формировать обучающее множество только из амплитуд полезного сигнала. Нелинейность при этом должна реализовывать функцию вычисления модуля комплексного числа.

Рассмотрим структуру искусственной НС, соответствующей такому преобразованию суммы комплексных входных сигналов.

Модуль комплексного числа определяется с помощью нелинейного преобразования, по формуле:

$$|A| = \sqrt{(\operatorname{Re} A)^2 + (\operatorname{Im} A)^2}, \quad (9)$$

где A – комплексное число.

Выражение представляет собой сумму двух квадратичных нелинейностей, в которой применена нелинейность в виде квадратного корня. Исходя из этого, искусственную двухслойную НС вида рисунка 5, с целью введения в неё нелинейности, выполняющей функцию вычисления модуля комплексного числа, целесообразно преобразовать в искусственную НС вида рисунок 6.

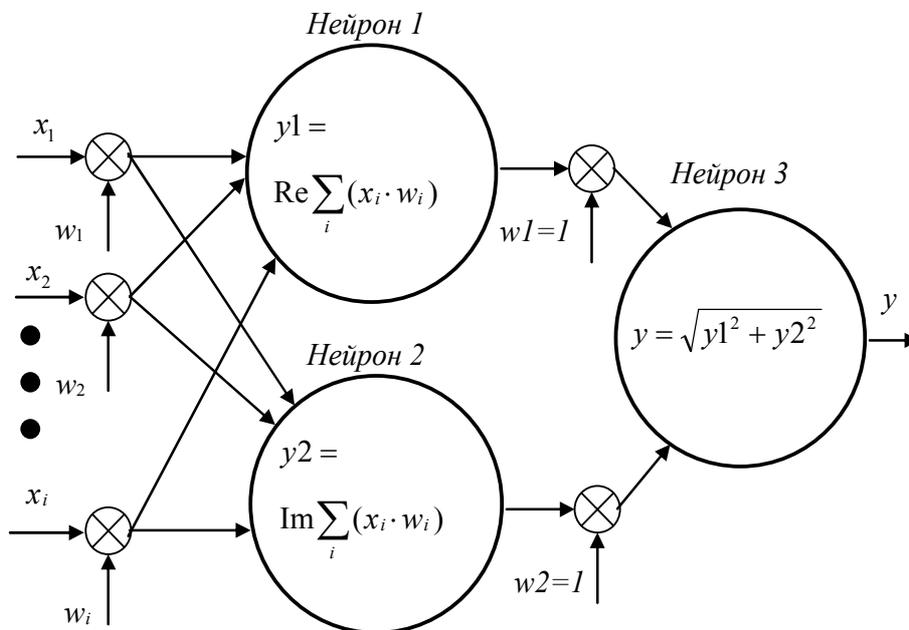


Рис. 6. – Структура искусственной НС с нелинейностью, выполняющей функцию вычисления модуля комплексного числа

Так же, как и для нейронной сети, изображенной на рисунке 5, вектор входных сигналов X взвешивается путем умножения на вектор весовых коэффициентов W ,

действительные и мнимые части полученных произведений отдельно суммируются, образуются две суммы взвешенных входных сигналов. Далее, выходные сигналы первого слоя нейронов y_1 и y_2 суммируются с фиксированными реальными весовыми коэффициентами $w_1=1$, $w_2=1$, и к полученной сумме применяется нелинейность в виде вычисления модуля комплексного числа *Нейрона 3*. Выходной сигнал y полученной искусственной НС, изображенной на рис 6, соответствует модулю выходного сигнала y искусственной НС, изображенной на рисунке 5.

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ОБРАТНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОШИБКИ ДЛЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ ФУНКЦИЮ ВЫЧИСЛЕНИЯ МОДУЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ЧИСЛА

В применении к задачам адаптации систем синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов, искусственную НС вида рис. 6 следует обучать с использованием обучающего множества, состоящего из комплексного вектора входных воздействий и соответствующего ему вектора модулей комплексных выходных воздействий. Искусственная НС, изображенная на рисунке 6, многослойная и составляющие её нейроны имеют нелинейности, поэтому, вывод формул для подстройки ВВК такой НС целесообразно сделать аналогично выводу формул для подстройки ВВК в методе обратного распространения ошибки⁷, с использованием частных производных по весам.

Суммарную квадратичную ошибку Err выходного сигнала НС вида рисунка 6 представим в виде:

$$Err = \sum_{n=1}^{Nr} (y_n - y_{эn})^2, \quad (10)$$

где Nr – количество обучающих реализаций,

y – выходной сигнал НС,

$y_{э}$ – эталонный сигнал.

Продифференцируем суммарную квадратичную ошибку Err по изменению весовых коэффициентов w .

С учетом формулы для производной от квадрата функции

$$\frac{dErr}{dw_i} = \sum_{n=1}^{Nr} 2 \cdot (y_n - y_{эn}) \cdot \left(\frac{d(y_n - y_{эn})}{dw_i} \right) \quad (11)$$

Выходной сигнал 3 нейрона:

$$y = \sqrt{(y_1)^2 + (y_2)^2}$$

Производная константы равна 0:

$$\frac{dy_{э}}{dw_i} = 0$$

Учитывая формулу производной от квадратного корня для модуля выходного сигнала и нулевую производную от эталонного сигнала, преобразуем (10):

⁷ Галушкин А.И. Синтез многослойных систем распознавания образов. – М.: «Энергия», 1974.

$$\frac{dErr}{dw_i} = \sum_{n=1}^{Nr} \frac{2 \cdot (y_n - y_{\varepsilon n}) \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(y1_n)^2 + (y2_n)^2}} \times}{\times \frac{d((y1_n)^2 + (y2_n)^2)}{dw_i}} \quad (12)$$

Применив к (12) формулу для производной квадрата функции, получим:

$$\frac{dErr}{dw_i} = \sum_{n=1}^{Nr} \frac{2 \cdot (y_n - y_{\varepsilon n}) \cdot \frac{1}{2 \cdot y_n} \times}{\times 2 \cdot \left(\frac{d(y1_n)}{dw_i} \cdot y1_n + \frac{d(y2_n)}{dw_i} \cdot y2_n \right)} \quad (13)$$

Далее удобно рассмотреть производные $\frac{dErr}{d \operatorname{Re} w_i}$ и $\frac{dErr}{d \operatorname{Im} w_i}$ (преобразования (11)

– (13) для них также корректны, это можно показать, выполнив преобразования (11) – (13) для них отдельно)

С учетом (8), получаем:

$$\begin{aligned} \frac{dErr}{d \operatorname{Re} w_i} &= \sum_{n=1}^{Nr} \times 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot (y_n - y_{\varepsilon n}) \cdot \frac{1}{2 \cdot y_n} \times}{\frac{d(\operatorname{Re} x_{in} \cdot \operatorname{Re} w_i - \operatorname{Im} x_{in} \cdot \operatorname{Im} w_i)}{d \operatorname{Re} w_i}} \cdot y1_n + \right. \\ &\quad \left. + \frac{d(\operatorname{Re} x_{ni} \cdot \operatorname{Im} w_n + \operatorname{Im} x_{ni} \cdot \operatorname{Re} w_n)}{d \operatorname{Re} w_n} \cdot y2_n \right) \\ &\quad \times \frac{2 \cdot (y_n - y_{\varepsilon n}) \cdot \frac{1}{2 \cdot y_n} \times}{2 \cdot y_n} \\ \frac{dErr}{d \operatorname{Im} w_i} &= \sum_{n=1}^{Nr} \times 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot (y_n - y_{\varepsilon n}) \cdot \frac{1}{2 \cdot y_n} \times}{\frac{d(\operatorname{Re} x_{in} \cdot \operatorname{Re} w_i - \operatorname{Im} x_{in} \cdot \operatorname{Im} w_i)}{d \operatorname{Im} w_i}} \cdot y1_n + \right. \\ &\quad \left. + \frac{d(\operatorname{Re} x_{in} \cdot \operatorname{Im} w_i + \operatorname{Im} x_{ni} \cdot \operatorname{Re} w_i)}{d \operatorname{Im} w_i} \cdot y2_n \right) \end{aligned} \quad (14)$$

Сократив выражения (14), а также введя коэффициент пропорциональности k , необходимый для осуществления итерационного процесса, получим итоговые формулы для корректировки весовых коэффициентов w_i , с использованием модуля комплексного эталонного сигнала:

$$\begin{aligned} \Delta \operatorname{Re} w_i &= -k \cdot \sum_{n=1}^{Nr} \left(\left(1 - \frac{y_{\varepsilon n}}{y_n}\right) \cdot (\operatorname{Re} x_{in} \cdot y1_n + \operatorname{Im} x_{in} \cdot y2_n) \right) \\ \Delta \operatorname{Im} w_i &= -k \cdot \sum_{n=1}^{Nr} \left(\left(1 - \frac{y_{\varepsilon n}}{y_n}\right) \cdot (\operatorname{Re} x_{in} \cdot y2_n - \operatorname{Im} x_{in} \cdot y1_n) \right) \end{aligned} \quad (15)$$

Таким образом, в результате представления адаптивной системы в виде нейронной сети и применив к полученной структуре методы нейронных сетей, удастся получить формулы для адаптации системы в условиях мешающих воздействий, искажающих фазу обучающих выборок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для устранения недостатков, связанных с использованием в качестве эталона полного полезного сигнала, в искусственную нейронную сеть, в виде которой представляется система синхронизированных по фазе приемоизлучающих объектов, может быть введена нелинейность, соответствующая вычислению модуля комплексного числа. Выражения для обучения полученной таким образом многослойной искусственной нейронной сети выводятся аналогично выведению формул для подстройки весовых коэффициентов в методе обратного распространения ошибки, с использованием дифференцирования по весам. В полученных в результате вывода выражениях подстройки весовых коэффициентов применяется только модуль эталонного сигнала, фаза эталонного сигнала в выражениях не используется, что позволяет проводить подстройку весовых коэффициентов в условиях искажения фазы обучающей выборки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптивные антенные решетки. Учебное пособие в 2-х частях / Под ред. В.А. Григорьева. – СПб: Университет ИТМО, 2016.
2. *Галушкин, А.И.* Синтез многослойных систем распознавания образов [Текст] / А.И. Галушкин. – М.: «Энергия», 1974.
3. *Сазонов, Д.М.* Многоэлементные антенные системы [Текст] / Д.М. Сазонов. – М.: Издательство «Радиотехника», 2015. – 144 с.
4. *Сейдл, П. и др.* Модель короткозамкнутой щелевой линии в виде искусственной нейронной сети [Текст] / П. Сейдл, И. Тауфер // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2009. – №5. – С. 57–61.
5. *Тархов, Д.А.* Нейросетевые модели и алгоритмы [Текст] / Д.А. Тархов. – М.: Издательство «Радиотехника», 2014. – 355 с.
6. *Татузов, А.Л.* Нейронные сети в задачах радиолокации [Текст] / А.Л. Татузов. – М.: Издательство «Радиотехника», 2009. – 432 с.
7. *Хабаров, А.В.* Объединение антенн с неизвестными координатами в антенную решетку [Текст] / А.В. Хабаров // Антенны. – 2006. – №11. – С. 7–11.

REFERENCES

- [1] Adaptivnye antennoye reshetki: uchebnoye posobie v 2-kh chastyakh [Adaptive antenna array. The education guidance in 2 parts]. Edited by V.A. Grigoreva. Sankt-Peterburg: Pub. ITMO university, 2016. (in Russian)
- [2] Galushkin A.I. Sintez mnogosloynnykh sistem raspoznavaniya obrazov [Synthesis of multilayered systems of recognition of images]. M. Pub. «Energiya» [Energy], 1974. (in Russian)
- [3] Sazonov D.M. Mnogoelementnye antennoye sistemy [Multielement antenna systems]. M. Pub. «Radiotekhnika» [Radio Engineering], 2015. ISBN 978-5-93-108-093-2, 144 p. (in Russian)
- [4] Seydl P., Taufer I. Model korotkozamknutoy shchelevooy linii v vide iskusstvennoy neyronnoy seti [Model of the short-circuited slot-hole line in the form of artificial neural network]. Neyrokompyutery: razrabotka, primeneniye [Neurocomputers: development, application]. 2009. №5. ISSN 1999-8554, pp. 57–61. (in Russian)
- [5] Tarkhov D.A. Neyrosetevye modeli i algoritmy [Neural network models and algorithms]. M. Pub. «Radiotekhnika» [Radio Engineering], 2014. ISBN 978-5-88070-376-0, 355 p. (in Russian)
- [6] Tatuzov A.L. Neyronnye seti v zadachakh radiolokatsii [Neural networks in problems of a radar-location]. M. Pub. «Radiotekhnika» [Radio Engineering], 2009, ISBN 978-5-88070-244-243-2, 432 p. (in Russian)
- [7] Khabarov A.V. Objedineniye antenn s neizvestnymi koordinatami v antennoyuyu reshetku [Combination of antennas with unknown coordinates in an antenna array]. Antennas [перевод], 2006, №11, ISSN 0320-9601, pp. 7–11. (in Russian)

System Adaptation of the Accepting and Radiating Objects Synchronized on the Phase in the Conditions of Selection Phase Distortion Using of Artificial Neural Networks

Nguyen Dang Thao

*Moscow Institute of physics and technology
(State University)
Institutsky pereulok, 9, Doloprudy, Moscow region, Russia 141701
info@mipt.ru*

Abstract – The paper discusses the adaptation of the system synchronized on the phase of the accepting and radiating objects by comparison with the reference signal in terms of phase distortion of the reference signal. Representation of system in the form of artificial neural network, with the subsequent training, is used for compensation of distortion of standard phase. Representation of systems and devices in the form of artificial neural networks is used for the solution of various tasks. Such representation enables the application of optimization methods of parameters used in artificial neural networks for parameter optimization are presented in the form of systems or devices. The composition of the optimized parameters is determined by selecting the configuration of the artificial neural network. It is shown that the system can adapt by method of comparison with a standard in the conditions of phase distortion of the training selections, due to application as a standard only of the module of a reference signal at representation of system of the accepting and radiating objects synchronized on a phase in the form of artificial neural network with the nonlinearity corresponding to complex number module definition.

Keywords: system of the accepting and radiating objects, adaptation by last mean square, adaptive array, artificial neural network.