

МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С НЕЧЕТКИМИ ФУНКЦИЯМИ АКТИВАЦИИ

Нгуен А. Т., Кориков А.М.
Томский политехнический университет
nguyenanhtu@tpu.ru

Введение

Искусственная нейронная сеть (НС) является некоторой моделью естественной НС. Каждый элемент искусственной сети (модель нейрона) является прототипом биологического нейрона, имитирующим его свойства и функционирование. Последние годы наблюдается повышение интереса к НС и их успешному применению в самых различных областях: бизнесе, медицине, науке, технике, геологии и т.д. НС вошли в практику везде, где нужно решать задачи прогнозирования, классификации, управления и т.п. В настоящей работе предлагаются новые модели нечетких НС (ННС), в которых нечеткие функции принадлежности (ФП) используются в качестве функций активации (ФА) ННС.

Моделирование ФП как ФА

В качестве ФА НС используются функции типа единичного скачка, линейного порога и сигмоида [1]. На практике в НС наиболее часто применяется сигмоидальная ФА [1]. Известны также примеры применения импульсных ФА [2], при этом возможно существенное упрощение структуры НС. Объясняется этот феномен усложнением ФА. В этой связи применение в качестве ФА ННС ФП, разрабатываемых в теории нечетких систем [3, 4], является актуальной задачей.

Напомним основные понятия теории нечетких систем: *нечетким числом* $\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in \square\}$ называется нечеткое подмножество универсального множества действительных чисел, ФП которого $\mu_A(x): \square \rightarrow [0;1]$ удовлетворяет следующим условиям:

- непрерывность;
- нормальность: $\sup_{x \in \square} (\mu_A(x)) = 1$;
- выпуклость:
$$\mu_A(y) \geq \min \{ \mu_A(x), \mu_A(z) \}, x \leq y \leq z.$$

Основанием (носителем) нечеткого числа \tilde{A} называется такое подмножество множества действительных чисел, для которого $\mu_A(x) > 0$ [3]. Аналогично *ядром* нечеткого числа \tilde{A} называется такое подмножество множества действительных чисел, для которого $\mu_A(x) = 1$.

Наиболее часто используемым типом нечетких чисел являются нечеткие треугольные числа, т. е. такие, которые можно задать тройкой чисел

$\tilde{N} = (A, B, C)$; $(A < B < C)$, где (A, C) – носитель нечеткого числа, B – его высота.

ФП нечеткого числа \tilde{N} задается выражением

$$\mu_N(x) = \begin{cases} f_L(x), x \in [A, B] \\ f_R(x), x \in [B, C] \\ 0, \text{ иначе} \end{cases} \quad (1)$$

где $f_L(x), f_R(x)$ – монотонные функции, соответственно, левой и правой частей ФП, причем $f_L(B) = f_R(B) = 1$.

В случае когда $f_L(x), f_R(x)$ являются полиномами второго порядка и $f_L'(x) = 0, f_R'(x) = 0$ в характеристических точках нечеткой величины, форму ФП, определяемой выражением (1), можно изменять. В данной работе рассмотрим функции $f_L(x)$ и $f_R(x)$ при следующих дополнительных условиях:

$$\begin{cases} f_L'(A) = 0; \\ f_R'(C) = 0. \end{cases} \quad (2); \quad \begin{cases} f_L'(B) = 0; \\ f_R'(C) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Внешний вид ФП треугольных нечетких чисел с учетом условий (2) и (3) представлен на рисунке.

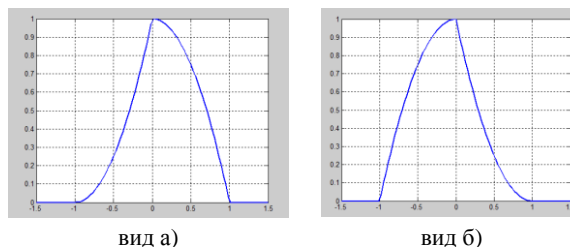


Рис. Формы ФП с учетом дополнительных условий: а) условия (2); б) условия (3).

Исследуем возможности применения данных ФП в качестве ФА НС, на основе которых создаются модели нечетких нейронов и ННС.

Модели нечетких нейронов

ННС в [4] называется четкая НС прямого распространения сигнала, которая построена на основе многослойной архитектуры с использованием И-, ИЛИ-нейронов [4].

И-нейроном называется нейрон, в котором умножение веса w на вход x моделируется конормой $S(w, x)$, а сложение нормой $T(w, x)$. ИЛИ-нейроном называется нейрон, в котором умножение веса w на вход x моделируется нормой $T(w, x)$, а сложение весов конормой $S(w, x)$. Эти понятия обсуждаются в [4].

Приведенная выше трактовка ННС отличается от ННС предлагаемой нами, поэтому будем

именовать ННС, изучаемую в [4], ННС первого типа, а ННС, предлагаемую нами с моделями нечетких нейронов, использующих в качестве функций активации ФП, представленные на рисунке, ННС второго типа.

Пример применения ННС второго типа для определения частоты основного сигнала на фоне белого шума

Белый шум — стационарный шум, спектральные составляющие которого равномерно распределены по всему диапазону исследуемых частот. Примерами белого шума являются шум близкого водопада (отдаленный шум водопада — розовый, так как высокочастотные составляющие звука затухают в воздухе сильнее низкочастотных), или дробовой шум на клеммах большого сопротивления, или шум стабилитрона, через который протекает очень малый ток. Аналогом белого шума является также белый свет, содержащий электромагнитные волны частот всего видимого диапазона электромагнитного излучения. В данной работе предлагается использование ННС второго типа для определения частоты основного сигнала, принимаемого на фоне белого шума. При обработке результатов эксперимента использовались методы теории эксперимента [5].

В качестве модели входного сигнала ННС используем аддитивную смесь синусоидального сигнала и белого шума, т.е. следующую функцию:

$$y = a_1 \times \sin(2\pi ft) + a_2 \times r \quad (4)$$

где a_1 — амплитуда основного синусоидального сигнала, a_2 — амплитуда помехи (шума), r — равномерно распределенные случайные величины на интервале $[0,1]$, f — частота основного синусоидального сигнала.

Выбираем дискретное время t : 500 эквидистантных значений от 0 до 0.005 (с); и задаем f в интервале $[1,2]$ Гц. Таким образом, на вход ННС поступает временной ряд, представляющий собой упорядоченную последовательность значений функции (4), характер которой меняется во времени t . Задачей ННС является прогноз f — основной частоты входного сигнала ННС. Подобные задачи возникают во многих приложениях ННС.

Итак, входными значениями ННС является белый шум, который моделируется временным рядом (4), а выходными значениями ННС являются основные частоты (4).

Структуру сети, используемой в программе, можно представить в виде многослойной однонаправленной сети. Она состоит из входного слоя, одного скрытого слоя, и выходного слоя. Скрытый слой состоит из 10 нейронов с нечеткими ФА видов а) или б). В выходном слое используется линейная ФА. Разделяем все входные значения на секции: 70% для обучения и 30% для проверки. В процессе обучения использован алгоритм метода Левенберга-Марквардта.

Таблица. Результат тестирования

Основная частота (Гц)	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Результат ННС с ФА вида а)	1,03	1,37	1,51	1,60	1,73	2,01
Результат ННС с ФА вида б)	1,16	1,33	1,37	1,67	1,75	2,04

Заключение

Из результатов тестирования следует, что разрабатываемые нами модели нечетких нейронов и ННС второго типа вполне успешно решают задачу прогнозирования свойств временного ряда. Следовательно, НС с нечеткими импульсными ФА могут в будущем широко применяться во многих областях науки, техники и технологий при решении задач прогнозирования, аппроксимации и т.п. Однако очевидны и недостатки использования этих моделей: длительное время обработки информации при решении задачи прогнозирования свойств временного ряда и потребность в значительных вычислительных ресурсах. Возможности современной компьютерной техники постоянно нарастают и ещё сохраняет свою силу известный эмпирический закон Мура (число элементов на одном кристалле удваивается каждые полтора года), открытый Гордоном Муром ещё в 1968 г.,

поэтому отмеченные выше недостатки ННС имеют временный характер. На преодоление отмеченных недостатков ННС направлены и наши исследования.

Список использованных источников

1. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 496 с.
2. Аксенов С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.
3. Нгуен А. Т. Компьютерное моделирование показателей нечеткой надежности / А. Т. Нгуен, А. А. Ефремов // Доклады ТУСУР. – 2016. – Т. 19, № 1. – С. 57-62.
4. Ярушкина Н. Г. Нечеткие нейронные сети с генетической настройкой // Научная сессия МИФИ-2004. VI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика»

2004»: Лекции по нейроинформатике. Часть I. –
М.: Изд-во МИФИ, 2004. – С. 151- 199.

5. Кориков А.М. Эксперимент в научном
исследовании // Доклады ТУСУР. – 2015. –
№ 2(36). – С. 148 – 154