

ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассматривается оценка суммарной стандартной и расширенной неопределенности нейросетевой модели нелинейного измерительного преобразователя на базе трехслойного персептрона, источником которой являются неопределенности оценок синаптических весов нейросети. Исследованы характеристики неопределенности нейросетевой модели путем имитационного моделирования на ЭВМ, проведен сравнительный анализ с неопределенностью полиномиальной модели.

Функция преобразования, искусственная нейронная сеть, персептрон, модель, неопределенность.

Введение

Современные научно-технические достижения в области метрологии, теории и практики измерений, несомненно, связаны с использованием передовых информационных технологий. Повышения точности измерений, улучшения метрологических характеристик средств измерительной техники зачастую можно добиться только за счет применения более эффективных алгоритмов, моделей и методов обработки измерительной информации.

В последние годы внимание исследователей все чаще привлекает такая область искусственного интеллекта, как искусственные нейронные сети. Благодаря множеству полезных свойств, в число которых входит способность к обучению, устойчивость к внешним шумам и внутренним дефектам, возможность реализации сложных многомерных функциональных преобразований, нейросети успешно применяют для решения широкого спектра задач в области моделирования нелинейных систем, прогнозирования, технической и медицинской диагностики, управления техническими объектами и технологическими процессами, распознавания образов, принятия решений и т.п. [1, 2].

По сути, искусственные нейронные сети являются универсальными аппроксиматорами, что позволяет эффективно использовать их в качестве моделей разнообразных нелинейных преобразователей сигналов, в том числе и измерительных преобразователей и устройств. Проведенные исследования подтверждают работоспособность нейросетевых моделей и демонстрируют ряд преимуществ этих моделей перед традиционными подходами к идентификации функции преобразования средств измерений, базирующихся на псевдолинеаризации с последующей оценкой параметров полученной зависимости по методу наименьших квадратов [3–5]. Вместе с тем представляет несомненный интерес

исследование точностных оценок таких нейросетевых моделей, в частности, стандартной и расширенной неопределенностей, обусловленных неопределенностями оценок синаптических весовых коэффициентов нейросети, получаемых в результате процедуры обучения модели, а также технической реализации искусственных нейронных сетей на базе цифровых вычислительных устройств с ограниченной разрядностью.

1. Постановка задачи

Рассмотрим модель нелинейного измерительного преобразователя, представляющую собой трехслойный персептрон. Структура модели приведена на рис. 1.

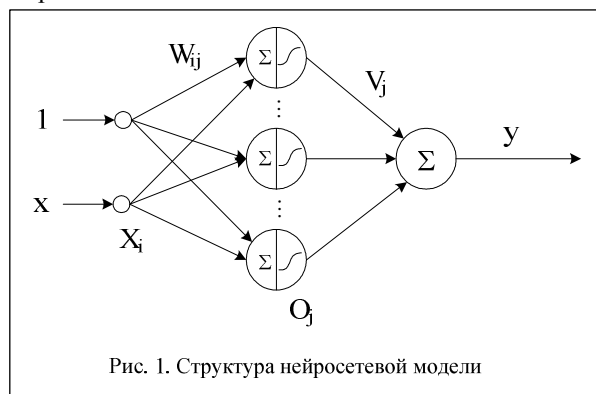


Рис. 1. Структура нейросетевой модели

Выходной слой персептрона образован одним нейроном, который формирует сигнал y как взвешенную сумму выходных сигналов нейронов скрытого слоя

$$y = \sum_{j=1}^n V_j O_j, \quad (1)$$

где O_j – выходной сигнал j -го нейрона скрытого слоя; V_j – синаптический вес j -го входа нейрона выходного слоя; n – количество нейронов в скрытом слое.

Скрытый слой образован нейронами с сигмоидальными функциями активации. Каждый

нейрон этого слоя описывается следующими уравнениями

$$O_j = \frac{1}{1 + e^{-S_j}}, \quad (2)$$

$$S_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} X_i,$$

где X_i – выходной сигнал i -го нейрона входного слоя; W_{ij} – синаптический вес i -го входа j -го нейрона скрытого слоя; m – количество нейронов во входном слое.

Входной слой нейронов образован самими входными сигналами нейросети, в качестве которых в данном случае выступают входной сигнал измерительного устройства x и постоянный сигнал, равный единице, который вводится для описания постоянного смещения.

Предположим, что в силу вышеуказанных причин синаптические весовые коэффициенты нейросети W_{ij} , V_j могут отклоняться от своих номинальных значений. В общем случае эти отклонения носят случайный характер и могут задаваться в виде предельных значений погрешностей $\theta_{W_{ij}}$, θ_{V_j} , $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n$. Задача состоит в том, чтобы на основании этих данных оценить суммарную стандартную неопределенность выходного сигнала модели $u_c(y)$ и расширенную неопределенность U .

2. Оценивание неопределенности нейросетевой модели

Модельное уравнение имеет вид

$$y = G(W_{ij}, V_j, x). \quad (3)$$

где G – функция преобразования, описываемая уравнениями (1), (2). Примем гипотезу о равномерном распределении отклонений синаптических весов W_{ij} , V_j в заданных пределах $\theta_{W_{ij}}$, θ_{V_j} . Исходя

из этого, стандартные неопределенности входных величин типа V будут определяться как

$$u(W_{ij}) = \frac{\theta_{W_{ij}}}{\sqrt{3}}, \quad u(V_j) = \frac{\theta_{V_j}}{\sqrt{3}}. \quad (4)$$

Полагая значения синаптических весов нейросетевой модели W_{ij} , V_j статистически независимыми, запишем выражение для оценки суммарной стандартной неопределенности выходного сигнала нейросетевой модели y

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{dG}{dV_j} \right)^2 u^2(V_j) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{dG}{dW_{ij}} \right)^2 u^2(W_{ij})} =$$

$$= \sqrt{\sum_{j=1}^n O_j^2 u^2(V_j) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (V_j O_j (1 - O_j) X_i)^2 u^2(W_{ij})}. \quad (5)$$

Тогда расширенная неопределенность выходного сигнала модели будет иметь вид

$$U = k u_c(y), \quad (6)$$

где коэффициент охвата $k = 1,96$ для доверительной вероятности $p = 0,95$.

3. Экспериментальные исследования

Для исследования предложенных в работе оценок суммарной стандартной и расширенной неопределенностей нейросетевой модели нелинейного измерительного преобразователя осуществлялось имитационное моделирование на ЭВМ. В качестве нейросети использовался трехслойный перцептрон, на выходе которого стоял сумматор, а скрытый слой был образован тремя нейронами с сигмоидальными функциями активации. Осуществлялся сравнительный анализ неопределенностей нейросетевой модели и полиномиальной модели 3-го порядка. Вычислительный эксперимент состоял в том, что параметры обеих моделей изменялись на 1% от их номинальных значений и рассчитывалась функция преобразования. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

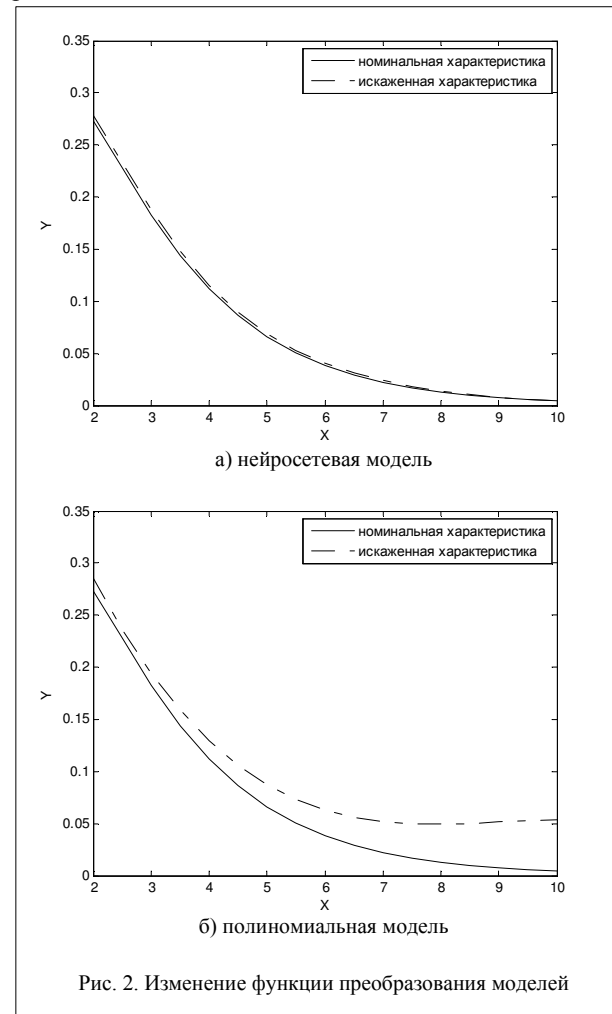


Рис. 2. Изменение функции преобразования моделей

Также были рассчитаны расширенные неопределенности выходных сигналов исследуемых моделей, результаты представлены на рис. 3.

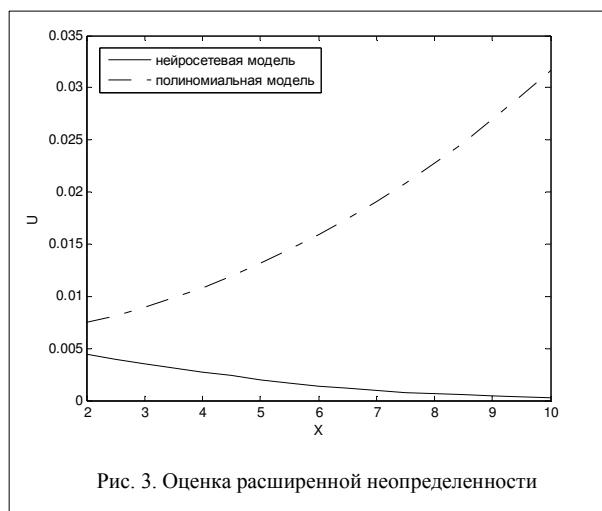


Рис. 3. Оценка расширенной неопределенности

Расширенная неопределенность выходного сигнала нейросетевой модели рассчитывалась по формулам (5), (6). Полиномиальная модель нелинейного измерительного преобразователя имела вид

$$y_p = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$$

и для нее были получены оценки суммарной стандартной и расширенной неопределенностей, источниками которой являются неопределенности оценок параметров b_0, b_1, b_2, b_3 модели. Оценки эти имеют следующий вид

$$u_c(y_p) = \sqrt{\sum_{j=0}^3 \left(\frac{dy_p}{db_j} \right)^2 u^2(b_j)} = \sqrt{\sum_{j=0}^3 x^j u^2(b_j)} = \sqrt{u^2(b_0) + xu^2(b_1) + x^2u^2(b_2) + x^3u^2(b_3)}, \quad (7)$$

$$U_p = ku_c(y_p), \quad (8)$$

где коэффициент охвата $k = 1,96$ для доверительной вероятности $p = 0,95$.

Выводы

Анализ результатов моделирования, представленных на рис. 2, 3, позволяет сделать вывод о том, что неопределенность нейросетевой модели нелинейного измерительного преобразователя на базе трехслойного персептрона в рассматриваемом диапазоне входных сигналов значительно меньше неопределенности полиномиальной модели 3-го порядка. В целом полученные результаты имитационного моделирования согласуются с теоретическими предположениями и убедительно демонстрируют высокую устойчивость нейросетевых моделей к шумам и внутренним дефектам, что открывает широкие возможности использования нейросетевых архитектур для решения задач моделирования нелинейных средств измерений.

Список литературы

1. Бодянский, Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения [Текст] / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков : ТЕЛТЕХ, 2004. – 369 с.
2. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст] : 2-е изд., испр., пер. с англ. – М. : ООО «ИД Вильямс», 2006. – 1104 с.
3. Водотыка, С. В. Использование искусственных нейронных сетей при построении калибровочной зависимости средства измерения [Текст] / С. В. Водотыка // Системы обработки информации. – 2011. – Вып. 1 (91). – С. 24-28.
4. Дегтярев, А. В. Идентификация нелинейной функции преобразования с помощью искусственной нейронной сети [Текст] / А.В. Дегтярев, О.В. Запорожец, Т.А. Овчарова // Український метрологічний журнал. – Вып. № 2. – 2013. – С. 4–8.
5. Запорожец, О. В. Моделирование нелинейных динамических средств измерений с помощью искусственной нейронной сети [Текст] / О.В. Запорожец, Т.А. Овчарова // Сборник трудов конференции «Информатика, математическое моделирование, экономика», Смоленск, 22 апреля 2013 г. – Том 1. – С. 85–90.
6. Захаров, И.П. Теория неопределенности в измерениях [Текст] : уч. пособ. / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Харьков : Консум, 2002. – 256 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Бодянский Е.В., Харьковский национальный университет радиоэлектроники