

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Нейронные сети в задачах идентификации
и измерения параметров динамических систем**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 421 группы
направления 03.03.03 Радиофизика
физического факультета
Соловьёва Тимофея Денисовича

Научный руководитель

профессор, д.ф.-м.н., доцент

А.В. Шабунин

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

В.С. Анищенко

Введение

С помощью нейронных сетей возможно решать множество различных задач: задачи распознавания сигналов и образов, классификации, кластеризации, сжатия сигналов. Возможно так же предсказание сложной динамики: предсказание изменения курса валют, предсказания погоды, предсказание хаотической динамики различных систем.

Целью работы являются моделирование двухслойных нейронных сетей прямого распространения и их обучения направленного на определение управляющего параметра исследуемой системы и на предсказание хаотической динамики этой системы.

В работе для создания обучающих данных, моделирования сетей, их обучения и визуализации полученных результатов используются функции пакета Neural Network Toolbox программы MATLAB и стандартные графические команды этой программы.

Актуальность работы заключается в:

1. Исследовании возможности измерения управляющего параметра логистического отображения с помощью нейронной сети прямого распространения
2. Исследовании возможности предсказания хаотической динамики дискретного отображения нейронными сетями.

Работа состоит из теоретической и практической частей.

Теоретическая часть состоит из краткого описания устройства нейронных сетей, классификации сетей по структуре и описания процесса обучения нейронных сетей с приведением наиболее применимых алгоритмов обучения и алгоритма обучения, используемого в работе.

Вторая часть работы состоит из краткого описания программного комплекса MATLAB.

В третьей части описывается практическая составляющая данной работы.

Была выбрана простая система, демонстрирующая хаотическую

динамику — логистическое отображение. Для определения управляющего параметра отображения и была смоделирована и обучена нейронная сеть. Сравниваются нейронная сеть и экспертная система. Исследовалась возможность предсказания регулярной и хаотической динамики логистического отображения с помощью нейронной сети. Нейронная сеть была обучена для предсказания итерации отображения по двум предыдущим. Предсказание динамики дискретного отображения возможно с помощью двух нейронных сетей, каждая из которых решает простую задачу. Первая сеть измеряет значение управляющего параметра по временному ряду, а вторая предсказывает по измеренному параметру и итерации значение следующей итерации. Для каждой сети определялись оптимальные параметры. Сравнение эффективности систем предназначенных для предсказания динамики показало, что система из двух нейронных сетей осуществляет предсказание динамики с меньшей погрешностью и на большие времена.

Искусственные нейронные сети и их классификация

Искусственные нейронные сети — сети, построенные из простых вычислительных процессоров, которые, будучи объединёнными в сеть, способны решать сложные задачи. Такие как распознавание образов, классификация сигналов или предсказание динамики.

Основными отличиями нейронных сетей от обычных программ является способность к обучению и обобщению.

В зависимости от решаемой задачи выбирается та, или иная структура сети. Сети можно разделить на три больших класса: однослойные сети прямого распространения, многослойные сети прямого распространения и рекуррентные сети.

Обучение нейронной сети

В процессе обучения нейронной сети алгоритм обучения осуществляет подстройку синаптических весов на основании обучающих данных. Алгоритм обучения тесно связан со структурой сети. При обучении нейронных сетей

прямого распространения используют градиентные методы, которые направлены на отыскание точки в многомерном пространстве весов сети в которой функция стоимости, характеризующая качество обучения сети, будет иметь минимальное значение. Для многослойных сетей прямого распространения при обучении используется алгоритм обратного распространения ошибки. Этот алгоритм позволяет настраивать синаптические веса не только для нейронов выходного слоя но и для нейронов скрытого слоя. Это возможно при учете влияния рассматриваемого нейрона на выходной сигнал. Для нейронов скрытого слоя необходимо учесть влияние выхода рассматриваемого нейрона на все связанные с ним нейроны. Для изменения веса синаптических весов используется дельта правило: корректировка весов происходит пропорционально градиенту вектора ошибки в пространстве весов (изменение происходит в направлении противоположенном градиенту) и параметру обучения, который определяет величину шага в пространстве весов. Существует множество модификаций градиентных методов, применяемых для обучения нейронной сети: метод Ньютона, метод Гаусса-Ньютона, метод Левенберга — Марквардта. Все они направлены на отыскание глобального минимума функции стоимости, зависящей от весов нейронной сети. При нахождении глобального минимума веса, соответствующей этой точки примут наилучшее значение и задача обучения будет решена. Сложность состоит в том, что пространство весов может иметь очень сложный рельеф. При этом задача отыскания глобального минимума становится очень сложной. Все алгоритмы обучения предназначены для преодоления этой сложности тем или иным способом. Для обучения нейронных сетей в работе используется метод Левенберга — Марквардта.

Описание программного комплекса MATLAB

Программный комплекс MATLAB позволяет быстро и просто производить матричные вычисления. Так же с помощью графических функций возможно визуализировать полученные данные . Пакет расширения,

предназначенный для работы с нейронными сетями позволяет моделировать нейронные сети различной структуры, обучать их для решения выбранной задачи и затем использовать обученные нейронные сети.

Практическая часть

Исследуемая динамическая система, используемая в работе должна демонстрировать хаотическую динамику. Простейшей моделью, удовлетворяющей этому требованию является логистическое отображение.

Исследуем возможность определения управляющего параметра отображения нейронной сетью прямого распространения по временному ряду, генерируемому дискретным отображением.

Определение оптимальных параметров сети

Для нейронной сети на основании теоремы Колмогорова — Арнольда, обобщенной для нейронной сети выбирается число слоёв сети равное двум, а на основании информации о используемых данных выбирается нелинейная логистическая функция для нейронов скрытого слоя и линейная функция активации выходного слоя.

Оптимальное число обучающих пар

На основании ошибки предсказания управляющего параметра от числа обучающих пар определяется оптимальное число обучающих данных. При выборе этого значения необходимо получить малую ошибку предсказания и в то же время минимально необходимое число обучающих пар. Для этой задачи оптимально применение 4000 обучающих пар.

Методика определения оптимального числа нейронов в скрытом слое

Для определения оптимального числа нейронов в скрытом слое применялась следующая методика: все параметры, кроме исследуемого фиксировались, а число нейронов менялось. При каждом изменении числа нейронов проводилось несколько процедур обучения и полученные суммы квадратов ошибок усреднялись по всем пробам обучения. По полученным данным строится зависимость ошибок от числа нейронов скрытого слоя(**рис. 1**).

Анализируя полученную зависимость необходимо выбрать такое число нейронов, чтобы решение задачи происходило с требуемой точностью и в то же время структура сети должна быть максимально простой. При выборе чрезмерно большого числа нейронов не происходит значительного увеличения точности, но увеличивается вероятность получить переобученную сеть (сеть которая «выучила» предъявленные ей при обучении и не способна правильно обрабатывать новые данные) и увеличивается время обучения сети.

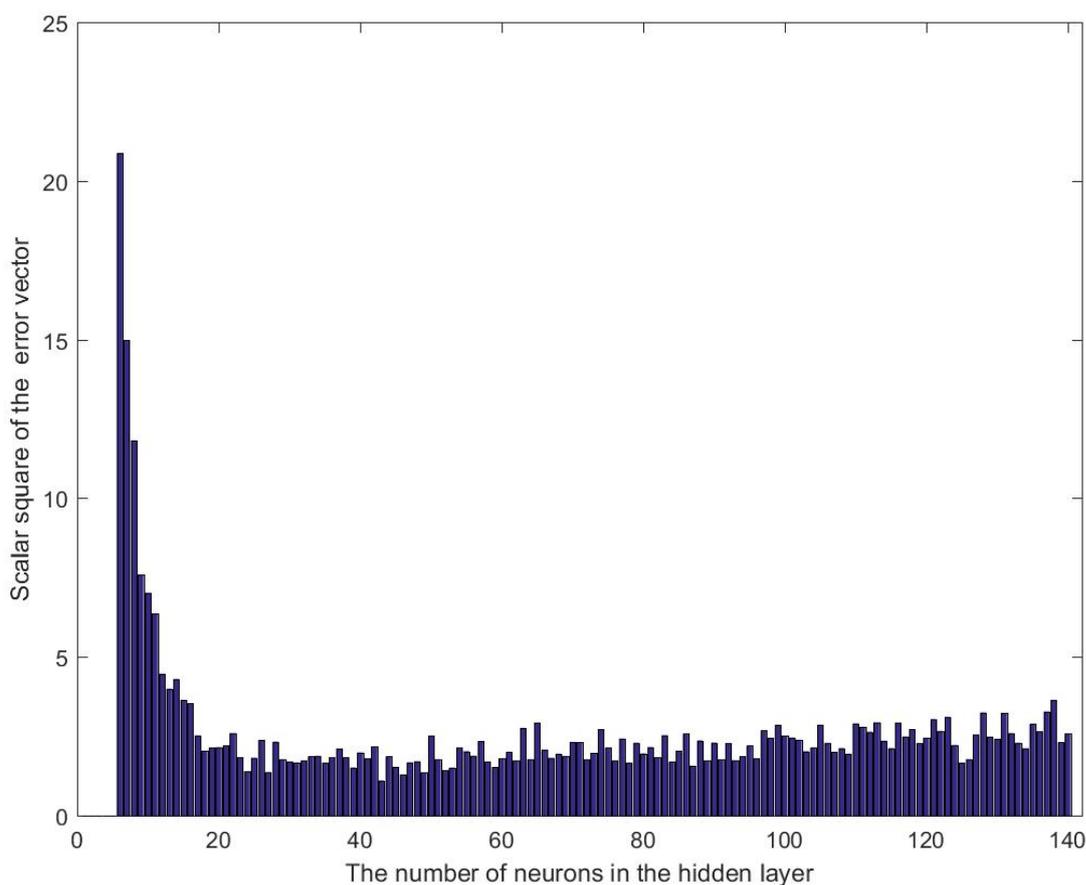


Рис. 1 Зависимость суммы квадратов ошибки от числа нейронов в скрытом слое.

Измерение управляющего параметра логистического отображения

Моделировалась двухслойная нейронная сеть прямого распространения. Параметры сети соответствуют выбранным выше. Сеть обучалась измерять управляющий параметр отображения по временному ряду, генерируемому исследуемым отображением. Обученная сеть способна измерять значение

управляющего параметра по двум итерациям отображения.

Эту задачу можно решить более точно. Для этого необходимо объединить несколько нейронных сетей, имеющих одинаковую структуру в одну систему. Выход этой системы будет определяться как среднее арифметическое значение выходов составляющих её сетей. Полученная таким образом система называется экспертной. Экспертная система позволяет «сглаживать» ошибки допускаемые нейронной сетью и выдавать более точный результат. При сравнении сетей одновременно предъявлялся массив данных по которому осуществлялось предсказание и сравнивались значения максимальной ошибки измерения управляющего параметра.

Предсказание динамики логистического отображения

Исследуем возможность предсказания сложной динамики нейронной сетью. Для этого смоделируем двухслойную нейронную сеть прямого распространения и обучим её предсказывать значение отображения по двум предыдущим итерациям. Определим оптимальное число нейронов в скрытом слое для этой сети. Для решения поставленной задачи в скрытом слое необходимо использовать 30 нейронов. Подавая выходные данные этой сети снова на вход получим сеть — предсказатель дискретного отображения.

Также предсказание динамики возможно с помощью системы, состоящей из двух специализированных нейронных сетей. Одна нейронная сеть предсказывает по временному ряду значение управляющего параметра дискретного отображения, а другая предсказывает значение итерации отображения по предыдущей итерации и значению управляющего параметра. Подав её выходное значение на вход, получим сеть, предсказывающую динамику логистического отображения.

Проведём сравнение этих систем. Для этого исследуем число предсказанных итераций хаотической динамики каждой системой и сравним эти значения. Полученный результат визуализирован как зависимость числа предсказанных итераций от значения управляющего параметра (**рис. 2**) число

предсказанных итераций получено путём усреднения значений по 10 попыткам предсказания.

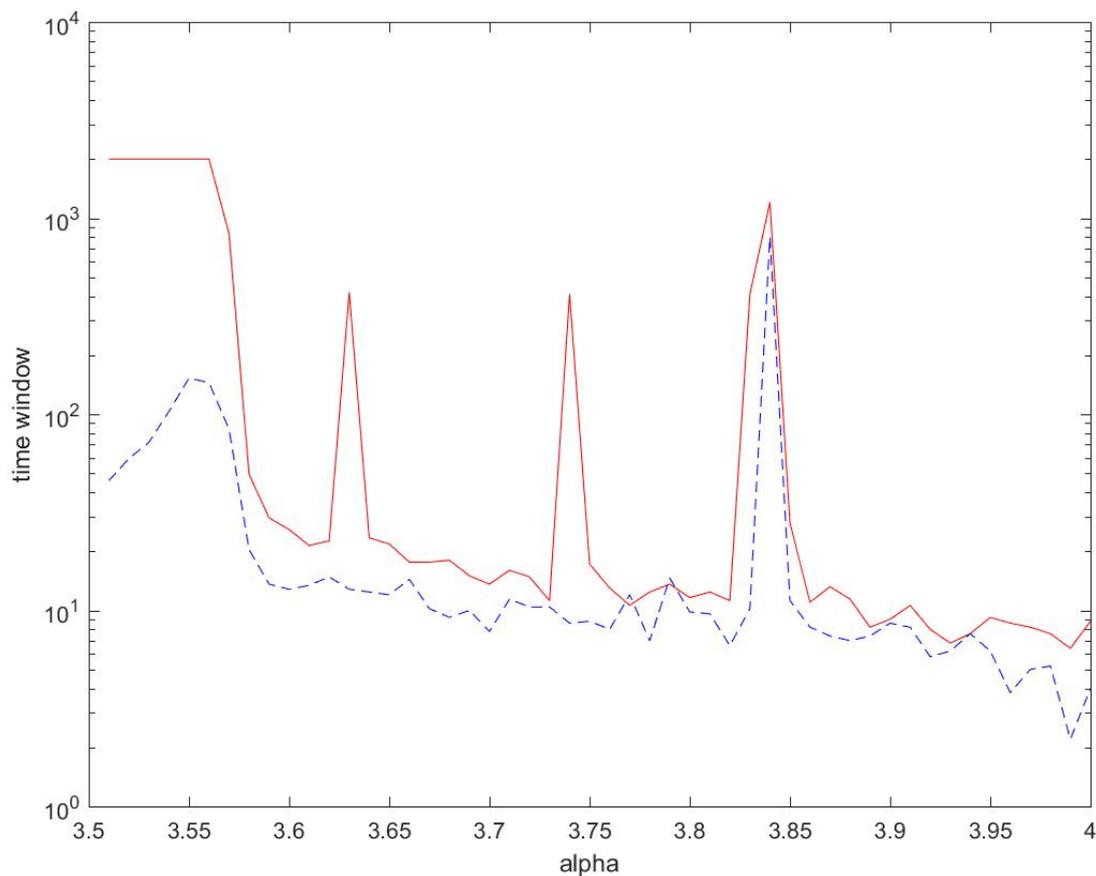


Рис. 2 Зависимость числа предсказанных итераций от значения управляющего параметра.

Красная линия — система из двух специализированных сетей

Синяя пунктирная линия- одна нейронная сеть

Как видно из **рисунка 2**, предсказание системы двух нейронных сетей происходит на большее число итераций.

Заключение

Была смоделирована двухслойная нейронная сеть прямого распространения. Она была обучена решению задачи измерения управляющего параметра логистического отображения по временному ряду. Для этой сети были найдены оптимальные параметры.

С помощью этой сети возможно измерение управляющего параметра

исследуемой системы на всём диапазоне его изменения. Точность определения параметра составляет 10^{-5} . Было проведено сравнение эффективности работы этой сети и экспертной системы, состоящей из 10 одинаковых нейронных сетей. На выход экспертной системы поступает среднее арифметическое выходов составляющих её систем.

Экспертная система в 92% случаев даёт более точное измерение управляющего параметра, при этом измерение точнее на 71%, чем измерение одной сети.

Применение экспертной системы позволяет «сглаживать» ошибки измерения и получать более точный результат.

Для предсказания динамики логистического отображения была создана нейронная сеть прямого распространения. Эта сеть была обучена предсказания итерации логистического отображения по двум предыдущим итерациям. При введении обратной связи эта сеть способна осуществлять предсказание динамики дискретного отображения. Была показана возможность предсказания хаотической динамики исследуемого отображения двухслойной нейронной сетью прямого распространения.

Исследовалась эффективность системы, предсказывающей динамику, состоящей из двух нейронных сетей. Первая сеть определяет значение управляющего параметра по двум итерациям отображения, а вторая сеть по измеренному параметру и одной итерации предсказывает значение следующей итерации. Введение в этой системе обратной связи позволяет осуществлять предсказание динамики логистического отображения. Эта система способна предсказывать хаотическую динамику логистического отображения на 10 итераций с малой ошибкой.

Было проведено сравнение эффективности решений нейронной сети и системы из двух сетей в задаче предсказания динамики отображения. Было показано, что система из двух нейронных сетей осуществляет предсказание на большие времена и с большей точностью.