

С.В. Бухарин, В.В. Навоев

**МЕТОДЫ ТЕОРИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
В ЭКСПЕРТИЗЕ ТЕХНИЧЕСКИХ И
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Монография

**Воронеж
Издательство «Научная книга»
2015**

УДК 519.237 (075.8)

ББК 22.172

Б 94

Рецензенты:

Матвеев М.Г. — д.т.н., профессор (Воронежский государственный университет);

Меньших В.В. — д.ф.-м.н., профессор (Воронежский институт МВД России)

Б 94 Бухарин, С.В. Методы теории нейронных сетей в экспертизе технических и экономических объектов: монография / С.В. Бухарин, В.В. Навоев. — Воронеж: Издательство «Научная книга», 2015. — 255 с.

ISBN 978-5-98222-868-0

Охарактеризовано современное состояние и перспективы развития экспертных систем. Сформулирован принцип единства решения прямой и обратной задач экспертизы. В качестве основы построения многомерной калибровочной модели предложена двухслойная нейронная сеть прямого распространения сигнала с обратным распространением ошибки. Для выделения главных компонент предложено использование нейронной сети с обучением по правилу Хебба. Показана перспективность применения персептрона при классификации объектов экспертизы и прогнозировании показателей новых объектов. Значительное внимание уделено самоорганизующимся нейронным сетям и кластеризации объектов экспертизы.

С единых позиций рассматривается экспертиза различных классов технических и экономических объектов.

Работа предназначена для специалистов в области информационных систем, нейронных сетей, экспертных систем различного назначения. Может быть также полезна аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

УДК 519.237 (075.8)

ББК 22.172

Б 94

ISBN 978-5-98222-868-0

О Бухарин С.В., Навоев В.В., 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ	8
1.1. Современное состояние и направления развития теории экспертных систем	8
1.2. Актуальные проблемы теории статистических экспертных систем	16
1.3. Основные проблемы решения обратной задачи экспертизы ..	33
1.4. Возможность использования нейронных сетей прямой передачи сигнала в практике экспертных систем	40
1.5. Потенциальные возможности различных нейронных сетей ..	51
Глава 2. НЕЙРОННЫЕ СЕТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПРЯМОЙ И ОБРАТНОЙ ЗАДАЧ ЭКСПЕРТИЗЫ	62
2.1. Концепция единства прямой и обратной задачи экспертизы ..	62
2.2. Двухслойная нейронная сеть моделирования решения прямой задачи экспертизы	71
2.3. Алгоритмы обучения нейронной сети для решения обратной задачи экспертизы	80
2.4. Обучение и адаптация двухслойной нейронной сети	89
2.5. Выбор оптимальных алгоритмов обучения и адаптации	102
2.6. Методы последовательной и групповой адаптации с фиксацией смещений нейронов	111
2.7. Принципы самоорганизации нейронных сетей для кластеризации объектов экспертизы	121
Глава 3. СНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ФАКТОРНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ	131
3.1. Понятие главных компонент.....	131
3.2. Статистические свойства главных компонент	139
3.3. Самоорганизующаяся нейронная сеть Хебба	151

3.4. Альтернативный метод решения прямой задачи экспертизы на основе ассоциативной нейронной сети	163
3.5. Уменьшение размерности факторного пространства при алгебраическом выделении главных компонент	173
3.6. Преодоление проблемы мультиколлинеарности методом регрессии на главные компоненты (РГК)	184
3.7. Преодоление проблемы мультиколлинеарности на основе методов регуляризации	193

Глава 4. ПРИМЕРЫ ЭКСПЕРТИЗЫ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

202

4.1. Обучение нейронной сети по референтным данным приборов ППКОП и прогноз обобщенного показателя нового объекта	202
4.2. Прогнозирование обобщенного показателя качества ретрансляторов СПИ с помощью нейронных сетей	211
4.3. Экспертиза структуры капитала трех предприятий с помощью обучения нейронной сети	217
4.4. Экспертиза и классификация расширенного множества референтных данных структуры капитала	223
4.5. Методы классификации на основе адаптации персептрона с визуализацией результатов экспертизы	228
4.6. Метод кластеризации главных компонент на основе самоорганизующегося слоя Кохонена	233

ЛИТЕРАТУРА

239

ПРЕДИСЛОВИЕ

Экспертные системы (ЭС) широко используются в различных областях техники и экономики, и общим проблемам теории и практики ЭС посвящены публикации отечественных ученых Г.Г.Азгальдова [1], С.А. Айвазяна [2], С.Д. Бешелева [13], Н.К. Бохуа [15], А.Н. Горбаня [209], Н.В. Дилигенского [40], В.С. Мхитаряна [42], Б.Г. Литвака [85], А.О. Недосекина [115] и др. Среди публикаций зарубежных специалистов известны работы А. Брукинга [188], Д. Джарратано [37], П. Джексона [38], М. Кендэла [62], Д. Лената [83], Д. Лорьера [86], С. Осуги [126], Т. Саати [151], Л. Терстоуна [228] и других ученых.

Непосредственными предшественницами данной работы являются монографии [17, 18], в первой из которых («Кластерно-иерархические методы экспертизы экономических объектов») разработаны методологические основы решения прямой задачи экспертизы, а вторая («Статистические методы экспертизы технических и экономических объектов») — посвящена решению обратной задачи на основе метода главных компонент. В данной работе предложен принцип единства прямой и обратной задач экспертизы, а основным методологическим средством является теория нейронных сетей. Таким образом, в совокупности три упомянутые монографии образуют своего рода трилогию.

Остановимся кратко на содержании данной работы. *В первой главе* проведен обзор литературы, на основе которого характеризуется современное состояние и перспективы развития экспертных систем, основанных на искусственном интеллекте, и методах, основанных на статистической обработке оценок экспертов. Отмечены основные проблемы статистических экспертных систем, в частности, проблема трудоемкости и дороговизны решения прямой задачи экспертизы (создание представительной группы экспертов, выделение признаков объекта экспертизы, получение множества экспертных оценок X , определение вектора весовых коэффициентов V , расчет обобщенных показателей качества J). Выдвинута гипотеза о том, что для создания экономически эффективной экспертной системы необходимо внедрение подсистемы решения обратной задачи экспертизы (обучение подсистемы для известных множеств X, J с целью оценки \hat{V} и прогнозирование показателя J_{pr} для нового объекта экспертизы). Рассмотрена возможность применения для решения этой задачи нейронных сетей прямой передачи сигнала с обратным распространением

ошибки. Оцениваются потенциальные возможности различных видов нейронных сетей: фильтра Хебба, персептрона, самоорганизующихся нейронных сетей, слоя Кохонена.

Вторая глава посвящена построению нейронных сетей моделирования решений прямой и обратной задач экспертизы. Обоснована сформулированная ранее гипотеза единства прямой и обратной задач экспертизы. Анализируется архитектура многослойной нейронной сети (количество слоев, количество нейронов в слое, вид функций активации). Введено понятие экспертона — специфической двухслойной нейронной сети для моделирования решения прямой задачи экспертизы. Обосновываются алгоритмы обучения нейронных сетей, в частности, алгоритм обратного распространения ошибки многослойных сетей. Выявлен класс двухслойных нейронных сетей, обеспечивающих решение обратной задачи экспертизы. В терминах многомерного статистического анализа обучение сети является первым этапом построения многомерной калибровочной модели, а дальнейшее моделирование сети — прогнозированием.

На примере группы технических объектов (объемных извещателей вневедомственной охраны) доказана высокая эффективность калибровки и прогнозирования. Проведен сравнительный анализ различных алгоритмов обучения и показано, что алгоритм Левенберга-Маркуардта является значительно более эффективным, чем известные градиентные алгоритмы. Предложен метод «адаптации с фиксацией смещений» нейронной сети, позволяющий восстанавливать реальные значения весовых коэффициентов исходной регрессионной модели в отличие от обычной процедуры «обучения».

В главе 3 рассматривается проблема снижения размерности признакового пространства методами теории нейронных сетей. Математической основой уменьшения исходного факторного пространства X является метод выделения главных компонент (ГК). В первых двух разделах данной главы дается понятие ГК, рассматривается общая процедура их нахождения и анализируются статистические свойства. В отличие от традиционной алгебраической процедуры SVD (singular value decomposition) разложения матрицы X на произведение матриц «счетов» и «нагрузок», в данной главе для нахождения ГК предложено использовать самоорганизующуюся нейронную сеть с обучением по правилу Хебба. Рассмотрены общие свойства такой нейронной сети (фильтра Хебба) и различные варианты стабилизации его результатов. На примере экспертизы финансового состояния реальных предприятий успешно выделены ГК матрицы референтных данных X .

Предложен альтернативный метод решения прямой задачи экспертизы на основе ассоциативной нейронной сети, в основе которого лежит вероятностная модель ассоциативного обучения. Рассмотрена нейронная модель смешения оценок экспертов, позволяющая при экспертизе экономических объектов получать более обоснованные оценки их финансового состояния. Рассмотрены альтернативные пути преодоления известной проблемы мультиколлинеарности исходных данных методом регрессии на главные компоненты (РГК) и методом гребневой (ridge) регрессии.

Четвертая глава посвящена примерам экспертизы технических и экономических объектов с помощью нейронных сетей. Рассматривается применение разработанной в предыдущих главах теории к технико-экономической экспертизе важного класса технических объектов (приборов и систем вневедомственной охраны). Приведены результаты численного анализа для двух важных классов технических объектов: приемно-контрольных приборов (ППКОП), ретрансляторов систем передачи извещений (СПИ).

Приведены результаты экспертизы структуры капитала конкретных предприятий с помощью обучения нейронных сетей и последующего предсказания обобщенного показателя структуры капитала нового предприятия.

Для решения задач классификации применяется специфическая нейронная сеть с жесткой функцией активации — персептрон. На примере референтных данных финансового состояния шести предприятий показана эффективность классификации. Предложены методы классификации на основе адаптации персептрона с визуализацией результатов экспертизы и метод адаптации персептрона на основе главных компонент референтных данных (МГКП).

Для решения задачи кластеризации объектов экспертизы предложено использование самоорганизующихся нейронных сетей, для чего используется особая «конкурирующая» функция активации нейрона и понятие «нейрона-победителя». Предложен метод кластеризации главных компонент на основе самоорганизующегося слоя Кохонена и показана его высокая эффективность с исследованием параметра активности нейронов конкурирующего слоя.

Работа предназначена для специалистов в области информационных систем, нейронных сетей, экспертных систем различного назначения. Может быть также полезна аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

Научное издание

Бухарин Сергей Васильевич
Навоев Виктор Владимирович

**МЕТОДЫ ТЕОРИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЭКСПЕРТИЗЕ
ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Монография

Издание публикуется в авторской редакции

Дизайн обложки С.А.Кравец

Подписано в печать 07.04.2015. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ.л. 16,0. Заказ 000. Тираж 500 экз.

ООО Издательство «Научная книга»
394077, Россия, г.Воронеж, ул. 60-й Армии, 25-120
<http://www.sbook.ru/>

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Цифровая полиграфия»
394036, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, 52.
Тел.: (473)261-03-61