

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра системного анализа и управления в медицинских системах

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Интеллектуальные технологии в здравоохранении»
для студентов направления
12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»
(профиль «Интеллектуальные системы управления в
здравоохранении»)

Воронеж 2018

Составители: канд. техн. наук Е.И. Новикова

УДК 681.3

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Интеллектуальные технологии в здравоохранении» для студентов направления 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии» (профиль «Интеллектуальные системы управления в здравоохранении») заочной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е.И. Новикова. Воронеж, 2018. 18 с.

Данное методическое указание предназначено для проведения лабораторных работ по дисциплине «Интеллектуальные технологии в здравоохранении».

Предназначены для студентов 1 курса магистратуры.

Табл. 1. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Е.Н. Коровин

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. О.В. Родионов

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский
государственный технический
университет», 2018

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ПАКЕТА NEUROPRO

1. Цель лабораторной работы - изучение возможностей NeuroPro, получение практических навыков по проектированию слоистой нейросетевой модели и создание математической модели нейросети.

2. СОСТАВ ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Используемые программно-аппаратные средства: персональное ЭВМ класса IBMPC стандартной конфигурации, Microsoft Office

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

3.2. Назначение и возможности пакета NeuroPro

В программе NeuroPro реализованы сети только слоистой архитектуры. В слоистой сети все нейроны сгруппированы в несколько слоев, нейроны внутри одного слоя могут работать параллельно. Каждый нейрон в слое принимает все выходные сигналы нейронов предыдущего слоя, а его выходной сигнал рассылается всем нейронам следующего слоя. В данной программе в качестве нелинейного элемента нейрона используется нелинейный сигмоидный преобразователь $f(A)=A/(c+|A|)$, где A - выход сумматора нейрона, а константа c - параметр крутизны сигмоиды. Число слоев в сети до 10, задается пользователем. Обычно не стоит задавать больше трех слоев нейронов. Число нейронов в слоях (до 100) может быть различным и не зависеть от числа входных и выходных сигналов сети. Перед подачей сети все входные сигналы нормируются в диапазон $[-1,1]$, а сигналы выходных сумматоров нормируются в диапазон истинных значений выходных сигналов.

Обучение нейронной сети проводится на задачнике – наборе векторов данных. В каждом векторе данных выделены сигналы, которые подаются сети, и сигналы, которые требуется получить от сети при заданных

входных сигналах. Обучение сети строится как минимизация некоторой функции связи между ответом сети и требуемыми значениями. Минимизируется суммарная функция по всем векторам обучающего множества. Минимизация происходит путем такой подстройки обучаемых параметров сети, чтобы сеть выдавала выходные сигналы, наиболее близкие к требуемым.

Скорость обучения нейронной сети во многом зависит от требуемой точности решения задачи. Так, не следует требовать от нейронной сети точности, превышающей точность измерения данных, или точности, многократно превосходящей удовлетворяющую нас. Скорость обучения сети также зависит и от алгоритмов обучения. В программе реализованы градиентные методы обучения, для которых градиент функции оценки по настраиваемым параметрам вычисляется по принципу двойственности.

Успешность обучения сети зависит от двух факторов. В первую очередь, задачник должен быть непротиворечив. А именно, в задачнике не должны присутствовать векторы данных, у которых одинаковы входные сигналы и разные выходные. Нейронная сеть не может обучиться решению таких противоречивых задач.

Если задачник непротиворечив, то для успешного обучения требуется такая нейронная сеть, число слоев и нейронов которой достаточно для решения задачи. Однако невозможно сразу же подобрать такую структуру сети, которая может решить задачу. Поэтому начинают обычно с предлагаемой программой структуры, а затем, если сеть не может обучиться (и задачник непротиворечив), пробуют обучать сети с увеличенным числом нейронов или слоев. Если же исходная сеть обучается решать задачу, то можно попытаться упростить ее (и получить архитектуру, минимально необходимую для данной задачи), либо, при наличии каких-либо практических требований или соображений, создать новую нейронную сеть с меньшими размерами и учетом имеющихся требований.

Использование метода двойственности позволяет достаточно просто получать показатели значимости входных сигналов и элементов сети – по

существо, вычисленные в линейном приближении абсолютные величины изменения функции оценки при удалении из сети элемента или входного сигнала. Эти показатели значимости усредняются по всем векторам заданника и по нескольким точкам в пространстве настраиваемых параметров.

Ранжируя входные сигналы и элементы сети по показателям значимости, получаем наборы входных сигналов и элементов, исключение которых почти не ухудшит точность решения задачи нейронной сетью. Исключая из сети эти наименее значимые входы и элементы и доучивая сеть, можно получить нейронную сеть с минимальным набором входных сигналов и элементов, правильно решающую задачу.

Применение данного программного продукта возможно в традиционных областях, а именно, в медицине, экологии, климатологии, метеорологии, при построении моделей технических объектов и их идентификации.

3.3. Главное меню

Меню программы содержит следующие пункты, относящиеся к нейронным сетям и работе с ними (рис. 1).

Файл - базовые операции с файлами, включая стандартные опции: создать, открыть, сохранить, сохранить как, выход.

Нейросеть - операции с нейронными сетями. Операция выполняется над активной в данный момент в нейропроекте нейронной сетью (рис. 2) и включает в себя следующие опции:

Обучение - обучение нейронной сети;

Тестирование - тестирование нейронной сети;

Сокращение числа входных сигналов - удаление наименее значимых входных сигналов;

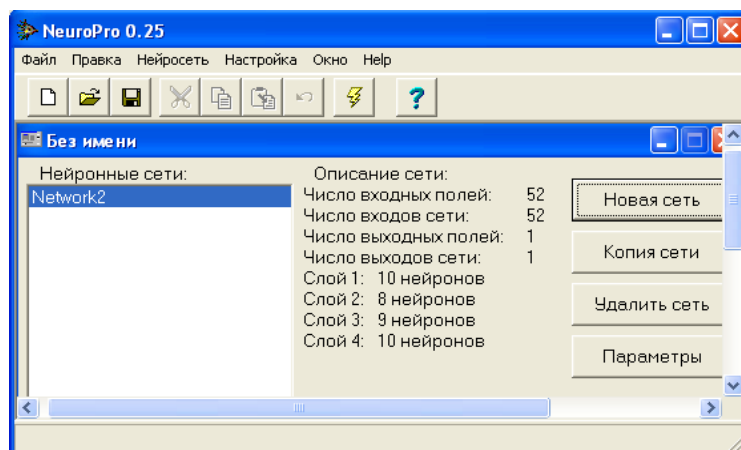


Рис. 1. Интерфейс программы NeuroPro

Сокращение числа синапсов - удаление наименее значимых синапсов сети;

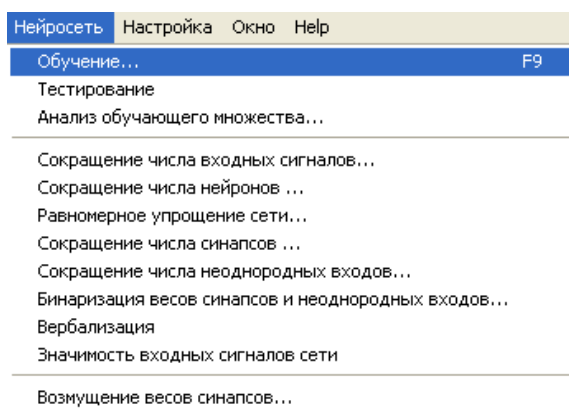


Рис. 2. Операции пункта Нейросеть главного меню

Сокращение числа неоднородных входов - удаление наименее значимых неоднородных входов нейронов сети;

Равномерное упрощение сети - сокращение числа приходящих на нейроны сети сигналов до заданного пользователем;

Бинаризация синапсов сети - приведение значений весов синапсов и неоднородных входов нейронов к значениям -1 и 1;

Вербализация - генерация вербального описания нейронной сети;

Значимость входов - подсчет и отображение значимости входных

сигналов нейронной сети;

Возмущение весов синапсов - добавление случайных поправок к весам синапсов сети.

Настройка - операции по настройке нейронной сети. Настройки действуют в пределах нейропроекта, сохраняются в файле нейропроекта и восстанавливаются при его чтении программой (рис. 3 и рис. 4).

Опции данного пункта меню:

Метод оптимизации - выбор метода оптимизации для обучения сети. Из трех реализованных в настоящее время в программе методов (градиентный спуск, модифицированный партан-метод (Par Tan) и метод сопряженных градиентов) при создании нейропроекта автоматически предлагается Par Tan.

Норма накопления значимости - выбор нормы накопления градиента при подсчете показателей значимости, иначе говоря, показатель совокупной ошибки сети. При создании нейропроекта автоматически выбирается норма в виде суммы модулей.

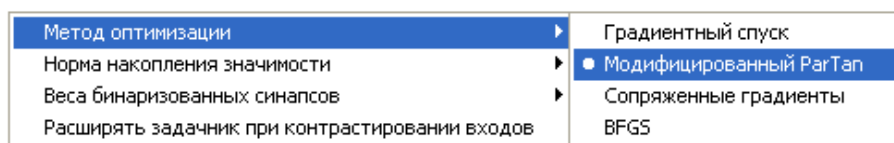


Рис. 3 Опции пункта **Настройка** главного меню

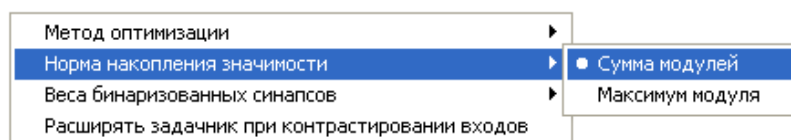


Рис. 4. Опции пункта **Настройка** главного меню

3.4. Создание нейропроекта

Работа с нейронными сетями возможна только в рамках некоторого

нейропроекта. Для того, чтобы создать нейропроект, необходимо выбрать пункт меню **Файл/Создать** или нажать кнопку **Создать** на панели. После создания нейропроекта в него можно вставлять нейронные сети и работать с ними. Созданный нейропроект может быть сохранен при помощи команд меню **Файл/Сохранить**, **Файл/Сохранить как**, или нажатием кнопки **Сохранить**.

В дальнейшем возможна работа с сохраненными файлами нейропроекта. Для этого необходимо выбрать пункт меню

Файл/Открыть или нажать кнопку **Открыть** и далее выбрать в диалоговом окне имя нужного нейропроекта.

Большинство операций с нейронными сетями требуют присутствия подключенного к нейропроекту файла данных. Для подключения файла данных или его замены необходимо открыть файл данных в окне нейропроекта или выбрать имя необходимого файла данных. Открытый файл данных отображается в собственном окне, где предоставляется возможность его редактирования. При закрытии окна файла данных подключение к нейропроекту завершается.

При подключенном файле данных можно проводить операции создания новых нейронных сетей, их обучения, тестирования и упрощения.

3.5. Создание нейронной сети

Для создания новой нейронной сети необходимо нажать кнопку **Новая сеть** в окне нейропроекта и заполнить **Диалог создания нейронной сети**.

Диалог создания нейронной сети предназначен для задания спецификаций для создаваемой нейронной сети. Элементы диалога (рис. 5.).

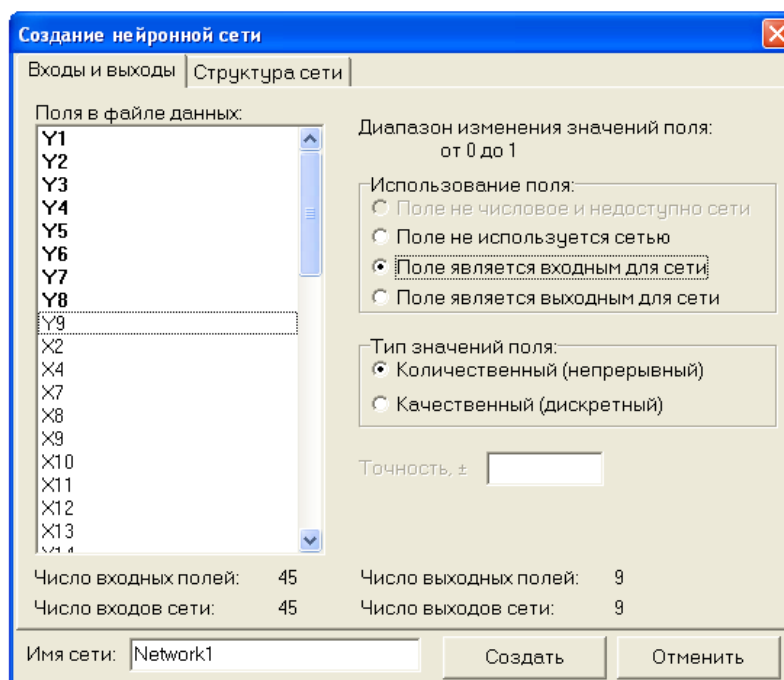


Рис. 5. Окно создания нейронной сети

Входы и выходы - окно для определения использования нейронной сетью имеющихся в файле данных полей.

Поля в файле данных - список полей в файле данных.

Использование поля - использование текущего поля нейронной сетью:

- поле не числовое и недоступно сети - поле не является числовым и не может обрабатываться нейронной сетью;
- поле не используется сетью - данное числовое поле не используется сетью;
- поле является входным для сети - значения данного поля подаются на входы сети;
- поле является выходным для сети - нейронная сеть обучается прогнозировать значения этого поля.

Тип значений поля – определение значений, которые принимает текущий признак:

Количественный (непрерывный) – признак принимает значения из некоторого непрерывного диапазона значений.

Качественный (дискретный) – признак принимает значения из конечного набора дискретных значений.

Дискретные состояния – лист для определения числа дискретных состояний, которые может принимать качественный признак, и их значений.

Число дискретных состояний – определение числа (от 2 до 20) дискретных состояний. Значение, предлагаемое по умолчанию, соответствует числу имеющихся дискретных состояний признака в файле данных. Если же в файле данных признак непрерывный, то предлагается 2 дискретных состояния.

Состояние N: От: До: – диапазон значений, соответствующий дискретному состоянию. Значение, предлагаемое по умолчанию, соотносит состоянию единственное значение (поля От и До одинаковы). Если же в файле данных признак непрерывный, то одному состоянию соответствует диапазон от нижней границы диапазона изменения параметра до середины диапазона изменения параметра, а второму состоянию – диапазон от середины диапазона изменения до верхней границы диапазона изменения параметра.

Отношение предшествования – определение, связаны ли дискретные состояния признака отношением предшествования (когда наличие следующего состояния предполагает наличие всех предыдущих состояний – для качественного признака, отражающего накопление какого-либо значения).

Диапазон изменения значений поля – минимальное и максимальное значение поля в файле данных.

Надежность или Точность – требования к точности решения задачи.

Для количественного признака точность может изменяться от 0 (максимальная точность, не должно быть отличий прогноза сети от известного значения) до ширины диапазона изменения значений этого поля (минимальная точность). По умолчанию предлагается точность в 10% от

ширины диапазона, при этом сеть должна обучиться предсказывать значения данного поля с точностью $\pm 10\%$ от ширины диапазона изменения значений. Чем меньше величина допустимой точности, тем более точно сеть должна научиться предсказывать известные значения.

Для качественного признака надежность может изменяться в диапазоне от 0 (минимальная надежность) до 1 (максимальная надежность). По умолчанию предлагается надежность в 0,1. Чем выше уровень надежности, тем более уверенно сеть должна научиться предсказывать известные значения.

Параметры, автоматически определяемые программой:

- **Число входных полей** - число полей в файле данных, используемых сетью в качестве входных.
- **Число входов сети** - число входных сигналов сети.
- **Число выходных полей** - число полей в файле данных, используемых сетью в качестве выходных.
- **Число выходов сети** - число выходных сигналов сети.
- **Структура сети** - окно для задания структуры нейронной сети (рис. 6). Характеризуется следующими параметрами.
- **Число слоев нейронов** - число слоев нейронов в сети. Изменяется от 1 до 10. Дополнительно после последнего слоя нейронов создается слой выходных сумматоров с числом сумматоров, равным числу выходных сигналов сети. По умолчанию предлагается 3 слоя нейронов. Для каждого слоя нейронов возможно задание ниже рассмотренных характеристик.

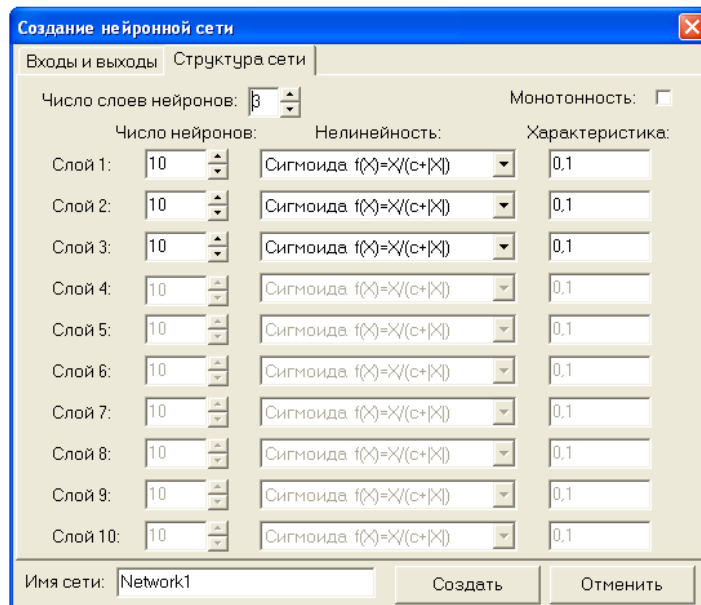


Рис. 6. Окно Структура сети

- **Число нейронов** - число нейронов в слое. Изменяется от 1 до 100. По умолчанию предлагается 10 нейронов в слое.
- **Нелинейность** - вид функции активации нейронов данного слоя. На данный момент реализована только сигмоидная нелинейность вида $f(A)=A/(c+|A|)$, где c - характеристика нейрона.
- **Характеристика** - значение не обучаемой константы c , используемой нелинейным преобразователем. Может изменяться в диапазоне от 0,0001 до 1 для описанной выше сигмоидной нелинейности. По умолчанию предлагается значение характеристики, равное 0,1. Чем больше значение характеристики, тем лучше интерполяционные и экстраполяционные способности обученной сети, но, как правило, это требует более длительного обучения.

За последним слоем нейронов строится слой выходных сумматоров по числу выходных сигналов сети.

- **Монотонность** - создание сети монотонной структуры.
- **Имя сети** - имя нейронной сети в списке нейропроекта. Опции **Создать/Изменение** и **Отменить** позволяют соответственно создать нейронную сеть или внести изменения в ее параметры, или же отменить

эти действия.

После создания нейронной сети она появляется в списке сетей нейропроекта и становится активной. Созданную нейронную сеть можно далее обучать, тестировать, упрощать и сохранять на диске вместе с нейропроектом.

1.6. Обучение нейронной сети

Для обучения активной в данный момент нейронной сети необходимо выбрать пункт меню **Нейросеть/Обучение**. Если подключенный к нейропроекту файл данных не содержит необходимых полей (это возможно, когда сеть создается по одному файлу данных, а дальнейшее ее обучение, тестирование или упрощение - по данным из другого файла), то выдается сообщение о несовместимости нейронной сети и файла данных. Если же в файле данных имеются все необходимые поля и он не пустой, то запускается процесс обучения сети. При этом на экран выводится **Окно обучения и упрощения сети**, где имеется возможность наблюдать процесс обучения и при необходимости самостоятельно завершить обучение нажатием кнопки **Завершить**, заменяющейся в случае удачного обучения кнопкой **Готово** (рис. 7).

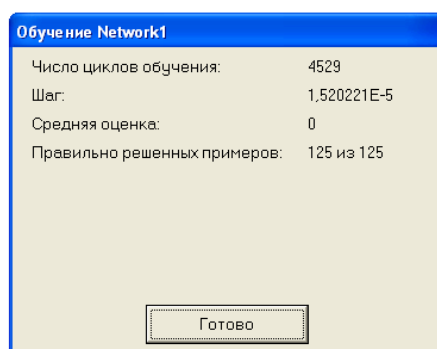


Рис. 7. Окно обучения нейронной сети

Обучение прекращается при достижении нулевого значения средней оценки на задачнике, в случае невозможности дальнейшего улучшения

оценки либо при аварийных ситуациях (нулевой или бесконечный шаг в направлении оптимизации).

Окно обучения и упрощения сети отображает следующие характеристики (рис. 8).

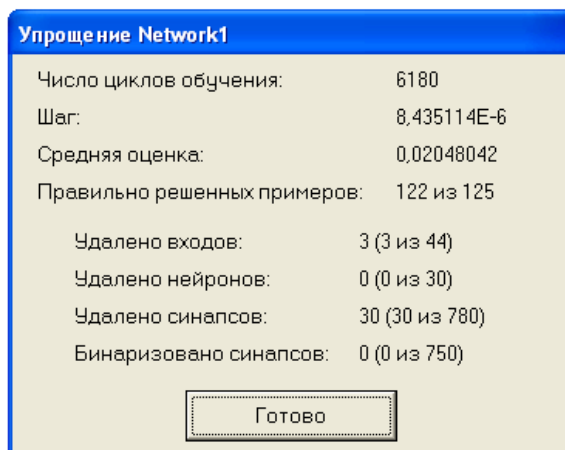


Рис. 8. Окно упрощения нейронной сети

Число циклов обучения – общее число шагов обучения (шагов градиентного спуска, ParTan-шагов, шагов метода сопряженных градиентов или BFGS-метода).

Шаг – величина шага в направлении оптимизации. При невозможности оптимизации в этом поле отображается строка **Zero step** или **Infinite step** – соответственно при нулевом или бесконечном шаге в направлении оптимизации.

Средняя оценка – средняя оценка на обучающем множестве.

Правильно решенных примеров – число примеров с нулевой оценкой из общего числа примеров, по которым производится обучение сети.

Удалено входов – число удаленных входных сигналов сети. Здесь и далее информация выводится в виде $X(Y \text{ из } Z)$, где X – число удаленных входных сигналов (синапсов, нейронов) на текущем этапе упрощения, Y – общее число удаленных входных сигналов (синапсов, нейронов) у сети, Z – число имеющихся у сети входных сигналов (синапсов, нейронов).

Удалено нейронов – число удаленных у сети нейронов.

Удалено синапсов – число удаленных синапсов и неоднородных

входов нейронов сети.

Бинаризовано синапсов – число бинаризованных синапсов и неоднородных входов нейронов сети.

Завершить/Готово – кнопка прекращения процесса обучения или упрощения сети.

Упрощение прекращается автоматически при невозможности достижения нулевого значения средней оценки после очередного акта упрощения сети. При этом сеть возвращается к предыдущему состоянию полной облученности.

3.7. Тестирование нейронной сети

После обучения нейронной сети можно провести тестирование ее прогностических возможностей. Для этого нужно выбрать пункт меню **Нейросеть/Тестирование**. Результат тестирования сети выводится в **Окно тестирования сети** (рис. 9) и представляет собой выходные данные для нейронной сети, а также значения прогноза этих полей нейронной сетью.

Если для какой-либо строки в файле неизвестно значение выходного поля, то для этой записи будет выведен только прогноз сети. Если у строки отсутствует хотя бы одно входное поле, прогноз сети будет отсутствовать.

Содержимое окна прогноза можно сохранить в текстовом файле для последующей обработки в другой программе (например, Microsoft Excel).

Для каждого выходного поля информация выводится в три колонки:

1. "Значение" – значения исходных данных для этого поля. Для количественных данных выводятся собственно значения данных, для качественных – принадлежность их к тому или иному классу.

2. "Прогноз" – прогноз сети для этого поля. Для количественных данных выводятся собственно значения данных, для качественных – принадлежность их к тому или иному классу.

№	Y1	Прогноз сети	Ошибка	Y2	Прогноз сети	Ошибка	Y3	Pr
1	1	0,9889336	0,01106644	0	0,08998269	-0,08998269	0	0,0
2	1	0,9077141	0,09228587	0	0,07743478	-0,07743478	0	0,0
3	1	0,9316049	0,06839514	0	0,05537301	-0,05537301	0	0,0
4	1	0,9837403	0,01625967	0	0,07359743	-0,07359743	0	0,0
5	1	0,9128428	0,08715725	0	0,04962224	-0,04962224	0	-0,0
6	1	0,9470949	0,05290508	0	0,05493557	-0,05493557	0	0,0
7	1	0,9610626	0,03893745	0	0,0654012	-0,0654012	0	0,0
8	1	0,9453375	0,05466247	0	0,0594275	-0,0594275	0	0,0
9	1	0,9325355	0,06746447	0	0,05503237	-0,05503237	0	-0,0
10	1	0,9816068	0,01839316	0	0,07102203	-0,07102203	0	0,0
11	1	0,9465772	0,05342281	0	0,05905235	-0,05905235	0	0,0

Рис. 9. Окно тестирования нейронной сети

3. "Уверенность" или "Ошибка" – невязка между исходным и спрогнозированным значением ("Ошибка") либо уровень уверенности сети в этом ответе ("Уверенность").

Информация в столбцах "Прогноз" и "Уверенность"/"Ошибка" выделяется следующими цветами:

- Черный – исходные значения (для поля исходных значений) и правильный ответ сети (совпадение прогноза сети с исходным значением со 100 % уверенностью – для задачи классификации, либо отличие прогноза сети от исходного значения не более чем на требуемое значение точности – для задачи прогнозирования).

- Синий – правильный ответ сети, однако не со 100 % уверенностью (при решении задачи классификации).

- Красный – неправильный ответ сети (при решении задачи классификации) либо отличие прогноза сети более чем на требуемое значения точности от исходного значения (для задачи прогнозирования).

- Зеленый – прогноз отсутствующего в файле данных значения.

В конце таблицы для каждого поля выводится статистика правильности решения:

- "Правильно" – число правильных прогнозов (и % от общего числа строк таблицы, для которых возможен прогноз этого поля).

- "Неуверенно" – число правильных, но не 100 %-уверенных прогнозов (и % от общего числа строк таблицы, для которых возможен прогноз этого поля) – только для задач классификации.
- "Неправильно" – число неправильных прогнозов (и % от общего числа строк таблицы, для которых возможен прогноз этого поля).
- "Всего" – общее число сделанных сетью прогнозов значений для этого поля.

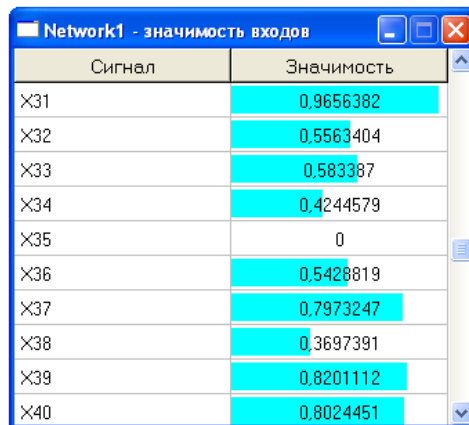
При решении задачи прогнозирования дополнительно выводятся следующие показатели:

- "Ср. ошибка" – средняя (по модулю) ошибка прогноза.
- "Макс. ошибка" – максимальная (по модулю) ошибка прогноза.

При решении задачи классификации дополнительно выводится правильность решения примеров каждого класса (число правильных прогнозов, неуверенных прогнозов, неправильных прогнозов и общее число примеров данного класса).

3.8. Вычисление показателей значимости входных сигналов сети

Для вычисления показателей значимости входных сигналов нейронной сети необходимо выбрать пункт меню **Нейросеть/Значимость входов**. Вычисленные показатели значимости выводятся в **Окно значимости входов** (рис. 10).



Сигнал	Значимость
X31	0,9656382
X32	0,5563404
X33	0,583387
X34	0,4244579
X35	0
X36	0,5428819
X37	0,7973247
X38	0,3697391
X39	0,8201112
X40	0,8024451

Рис. 10. Окно значимости входов нейронной сети

Данное окно отображает текущую значимость входных сигналов для принятия сетью правильного решения. Значимость (в относительных единицах) отображается в виде гистограммы, где наиболее значимому входу соответствует наиболее длинный столбец гистограммы. Для отконтрастированных входных сигналов значимость равна 0.

Если отмеченное окно отображено на экране, и для данной нейронной сети запускается процесс упрощения, то это окно динамически изменяет отображаемые данные после каждого пересчета показателей значимости входных сигналов (на каждом шаге упрощения, т. е. при исключении входного сигнала или контрастировании/бинаризации синапса).

3.9. Упрощение нейронной сети

Не все входные сигналы сети и синапсы нейронов необходимы для правильного решения сетью задачи. Часто можно достаточно существенно упростить сеть без ухудшения точности решения задачи. Основными результатами проведения процесса упрощения сети являются следующие:

- сокращается число входных сигналов сети. Если правильно решить задачу можно на основе меньшего набора входных данных, то это может в дальнейшем сократить временные и материальные затраты на сбор информации;
- нейронную сеть более просто можно будет реализовать на аппаратной платформе;
- сеть может приобрести логически прозрачную структуру. Известно, что почти невозможно понять, как обученная нейронная сеть решает задачу. После упрощения нейронная сеть становится достаточно обозримой, и можно попытаться построить алгоритм решения сетью задачи на основе графического представления или вербального описания структуры сети.

Для упрощения нейронной сети имеются следующие операции в меню **Нейросеть**:

Сокращение числа входных сигналов - удаление наименее значимых входных сигналов.

Сокращение числа синапсов - удаление наименее значимых синапсов сети.

Сокращение числа неоднородных входов - удаление наименее значимых неоднородных входов нейронов сети.

Равномерное упрощение сети - сокращение числа приходящих на нейроны сети сигналов до задаваемого пользователем.

Бинаризация синапсов сети - приведение значений весов синапсов и неоднородных входов нейронов к значениям -1 и 1.

Упрощение нейронной сети проводится до тех пор, пока возможно обучение нейронной сети до нулевой средней оценки. Текущая информация выводится в **Окно обучения и упрощения сети**. Упрощение может прекратиться, когда уже все синапсы, подлежащие контрастированию или бинаризации, соответственно отконтрастированы или бинаризованы.

Нейрон сети считается отконтрастированным, когда у него нет ни одного входного сигнала или сигнал данного нейрона не используется нейронами следующего слоя. Поэтому нейроны сети можно контрастировать, не вводя специальной операции, а пользуясь только контрастированием сигналов и синапсов.

Если пользователя не удовлетворяет число отконтрастированных входов/синапсов, то можно попробовать дообучить сеть с более сильными требованиями к точности решения задачи и, вернувшись к прежней точности, запустить процесс упрощения вновь. Часто это помогает отконтрастировать большее число нейронов.

Как показывает опыт, простое сокращение числа синапсов может удалять как наименее значимые входы, так и «лишние» нейроны сети. Однако для более простого понимания решения задачи часто бывает необходимо упрощать сеть по более сложным правилам, в первую очередь, равномерно прореживая структуру синапсов сети, а только потом удалять наименее значимые входы и нейроны сети.

Диалог равномерного упрощения сети содержит следующие элементы:

Максимальное число сигналов на нейрон - максимальное число сигналов, приходящих на нейрон. У каждого нейрона сети последовательно будут контрастироваться наименее значимые синапсы до тех пор, пока число оставшихся у нейрона синапсов не будет превышать заданного числа. По умолчанию максимальное число сигналов на нейрон принимается равным 3.

Упрощение - запускает процесс равномерного упрощения сети с заданным максимальным числом сигналов.

Отменить - отменяет запуск процесса упрощения.

3.10. Вербализация нейронной сети

Для получения вербального описания текущей нейронной сети необходимо выбрать пункт меню **Нейросеть/Вербализация**. Вербальное описание сети выводится в **Окно вербального описания сети** (рис. 11). На основе вербального описания можно попытаться восстановить набор правил, используемых сетью для правильного решения задачи.

Окно вербального описания сети содержит текст, описывающий нейронную сеть. Отконтрастированные входные сигналы, синапсы и нейроны сети в тексте не описываются. В текст включены следующие разделы:

- поля базы данных БД (исходные симптомы) - имена полей файла данных, которые используются сетью в качестве входных;

```

Вербальное описание Network1
Синдромы 1-го уровня:
Синдром1_1=Сигмоида1(0,01098717*X11+0,1145548*X18+0,02047939*X23+0,09302123*X24)
Синдром1_2=Сигмоида1(-0,1146101*X11+0,06304695*X18-0,1712358*X22-0,005679636*X23)
Синдром1_3=Сигмоида1(-0,06238476*X11+0,1353727*X18+0,03008013*X23-0,02237885*X24)
Синдром1_4=Сигмоида1(-0,1695479*X18+0,0792096*X22+0,1368615*X23-0,2422812*X29-0,00000000*X24)
Синдром1_5=Сигмоида1(0,07103317*X11+0,05289037*X18+0,07910019*X22+0,102689*X23)
Синдром1_6=Сигмоида1(-0,04250448*X18-0,1489623*X22+0,08258802*X23-0,06978319*X24)
Синдром1_7=Сигмоида1(0,1017944*X11-0,03203909*X18-0,03245723*X22+0,3110881*X29-0,00000000*X24)
Синдром1_8=Сигмоида1(0,1913082*X11-0,3466459*X18+0,1894923*X23+0,2214699*X24+0,00000000*X29)
Синдром1_9=Сигмоида1(0,0360983*X11-0,190255*X18+0,08017108*X22-0,03069366*X23-0,00000000*X29)
Синдром1_10=Сигмоида1(-0,2116886*X11+0,1849505*X22-0,03850643*X23-0,2528734*X24)

Синдромы 2-го уровня:
Синдром2_1=Сигмоида2(-0,3188202*Синдром1_1+0,319432*Синдром1_3+0,1959488*Синдром1_4)
Синдром2_2=Сигмоида2(-0,1240208*Синдром1_1+0,06237834*Синдром1_2-0,08590261*Синдром1_3)
Синдром2_3=Сигмоида2(0,3696763*Синдром1_1-0,3375263*Синдром1_2-0,2280456*Синдром1_3)
Синдром2_4=Сигмоида2(-0,07904501*Синдром1_1+0,3800902*Синдром1_2+0,05416853*Синдром1_3)
Синдром2_5=Сигмоида2(-0,1806018*Синдром1_1+0,03753058*Синдром1_2+0,05958036*Синдром1_3)

```

Рис. 11. Окно вербального описания нейронной сети

- поля базы данных (конечные синдромы) - имена полей БД, значения которых прогнозирует нейронная сеть;
- предобработка входных полей БД для подачи сети - правила нормирования входных сигналов в диапазон $[-1, 1]$ для подачи нейронной сети;
- функциональные преобразователи - описания используемых на каждом слое сети функциональных преобразователей нейронов;
- синдромы первого уровня - описание преобразования входных сигналов сети нейронами первого слоя сети;
- синдромы второго уровня - описание преобразования входных сигналов сети нейронами второго слоя сети (если у сети два и более слоев нейронов);
 - конечные синдромы - описание вычисления значений прогнозируемых полей файла данных;
 - постобработка конечных синдромов - правила нормирования выходных сигналов сети из диапазона $[-1, 1]$ в диапазон истинных значений.

Данное вербальное описание нейронной сети может быть сохранено на диске в текстовом файле.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 1

1. Подготовить исходных данных (обучающей выборки, задачника). Ранее отмечалось, что пакет NeuroPro использует данные, представленные в виде электронных таблиц форматов *.dbf (СУБД dBase, FoxPro, Clipper) и *.db (СУБД Paradox). Если отмеченные СУБД на компьютере пользователя не установлены, необходимо подготовить исходные данные в Excel, снабдив все столбцы соответствующими именами.

Формат всех ячеек необходимо указать как числовой, например, с двумя знаками после запятой и после этого сохранить таблицу, используя опцию меню **Файл/Сохранить как**, в формате dBase (*.dbf).

2. Создать проект. Запустить нейропакет. В появившемся окне программы с помощью опции меню **Файл/Создать** перейти к окну вида рис. 12.

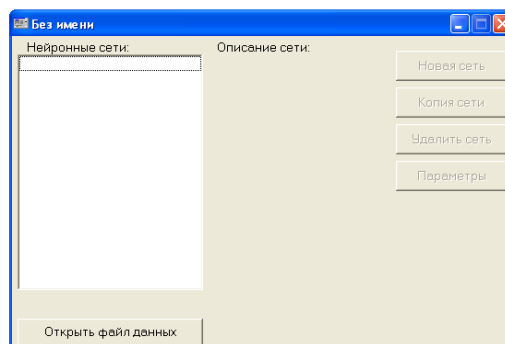


Рис. 12. Окно создание новой нейронной сети

При нажатие на кнопку **Открыть файл данных**, выбрать файл с подготовленными данными, с расширением *.dbf, открыть его.

3. Создать сеть. Указать число слоев нейронов и число нейронов в слое.

Для оценки числа нейронов в скрытых слоях однородных нейронных сетей можно воспользоваться формулой для оценки необходимого числа синаптических весов L_w в многослойной сети с сигмоидальными передаточными функциями:

$$\frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_w \leq m \left(\frac{N}{m} + 1 \right) (n + m + 1) + m, \quad (1)$$

где n - размерность входного сигнала (число признаков заболеваний), m - размерность выходного сигнала (число заболеваний), N - число элементов обучающей выборки.

Оценив необходимое число весов, можно рассчитать число нейронов в скрытых слоях. Например, для двухслойной сети это число составит:

$$L = \frac{L_w}{n + m} \quad (2)$$

Известны и другие формулы для оценки, например:

$$2(n + L + m) \leq N \leq 10(n + L + m), \quad (3)$$

$$\frac{N}{10} - n - m \leq L \leq \frac{N}{2} - n - m. \quad (4)$$

Иногда целесообразно использовать сети с большим числом слоев. Такие многослойные нейронные сети могут иметь меньшие размерности матриц синаптических весов нейронов одного слоя, чем двухслойные сети, реализующие то же самое отображение.

Окно программы после создания структуры нейронной сети примет вид в соответствии с рис. 1.

4. Обучить нейронную сеть. По его окончанию получим окно, аналогичное показанному на рис. 7.

5. Тестирование нейронной сети. Через пункты меню **Нейросеть/Тестирование** запустить режим тестирования. Выяснить значимость входов, при необходимости упростить сеть, сохранить ее. За-

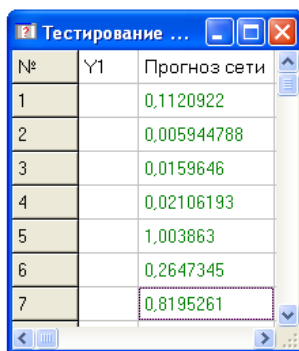
крыть программу

6. Использование обученной сети. Подготовить какой-либо набор входных данных, также используя Excel; столбец для выходных данных снабдить только названием, но не заполнять. Сохранить файл под именем test в формате dbf.

Запустить нейропакет. Открыть (как описано выше) сохраненный нейропроект. В появившемся окне нажать кнопку **Открыть файл данных** и далее откроем файл test.dbf. Перейти в окно **Нейронные сети** и в меню выбрать пункт **Нейросеть/Тестирование**. Полученный результат приведен на рис. 13.

7. Получить вербальное описание нейросети и сохранить его.

Для просмотра созданной нейросети необходимо произвести вербализацию, в результате мы получим текстовый файл, в котором приведено описание функционирования нейросети. Описание нейросети приведено в виде группы формул. Используя данные формулы можно из входных данных получить выходные. Данные формулы, являются формализованным решением задачи.



№	Y1	Прогноз сети
1		0,1120922
2		0,005944788
3		0,0159646
4		0,02106193
5		1,003863
6		0,2647345
7		0,8195261

Рис. 13. Результаты опроса нейронной сети

8. Оптимизировать обученную нейросеть:

– уменьшить количество входов нейросети. Это возможно в случае избыточности входных параметров нейросети. Для проверки и коррекции

входов надо выбрать в меню **Нейросеть/Сокращение числа входных сигналов**;

– в случае избыточности количества нейронов их можно сократить автоматически (**Нейросеть/Сокращение числа нейронов**);

– так же можно произвести равномерное упрощение нейросети путем уменьшения количества подаваемых сигналов на один нейрон (**Нейросеть/Равномерное упрощение нейросети**);

– для приведения весов синапсов и неоднородных входов нейронов сети к выделенным значениям, необходимо определить эти значения (**Настройки/Веса бинаризованных синапсов**), а затем запустить процедуру приведения (**Нейросеть/Бинаризация весов синапсов и неоднородных входов**);

9. Получить вербальное описание нейросети (**Нейросеть/Вербальное описание**) и сравнить его с вербальным описанием, полученным до оптимизации нейросети.

5. ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2

Варианты заданий представлены в таблице 1.

вариант	Параметры	Количество скрытых слоев								Количество скрытых слоев							
1		1								2							
	количество нейронов в скрытом слое	6	6	12	12	6	6	12	12	6	6	12	12	6	6	12	12
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,4	0,9	0,4	0,9	0,4	0,9	0,4	0,9	0,4	0,9	0,4	0,9	0,4	0,9	0,4	0,9
2		1								2							
	количество нейронов в скрытом слое	7	7	14	14	7	7	14	14	7	7	14	14	7	7	14	14
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8	0,3	0,8
3		1								2							
	количество нейронов в скрытом слое	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85
4		1								2							
	количество нейронов в скрытом слое	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1	0,6	1
5		1								2							
	количество нейронов в скрытом слое	8	8	13	13	8	8	13	13	8	8	13	13	8	8	13	13
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,55	0,9	0,55	0,9	0,55	0,95	0,55	0,95	0,55	0,95	0,55	0,95	0,55	0,95	0,55	0,95

вариант	Параметры	Количество скрытых слоев								Количество скрытых слоев							
6		1								3							
	количество нейронов в скрытом слое	6	6	12	12	6	6	12	12	6	6	12	12	6	6	12	12
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2	0,8
7		1								3							
	количество нейронов в скрытом слое	7	7	14	14	7	7	14	14	7	7	14	14	7	7	14	14
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9
8		1								3							
	количество нейронов в скрытом слое	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,4	0,7	0,4	0,7	0,4	0,7	0,4	0,7	0,4	0,7	0,4	0,7	0,4	0,7	0,4	0,7
9		1								3							
	количество нейронов в скрытом слое	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15	5	5	15	15
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,35	0,5	0,35	0,5	0,35	0,55	0,35	0,55	0,35	0,55	0,35	0,55	0,35	0,55	0,35	0,55
10		1								3							
	количество нейронов в скрытом слое	8	8	13	13	8	8	13	13	8	8	13	13	8	8	13	13
	функция активации	сигмоида				гипертангес				сигмоида				гипертангес			
	крутизна	0,35	0,8	0,35	0,8	0,35	0,8	0,35	0,8	0,35	0,8	0,35	0,8	0,35	0,8	0,35	0,8

6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- наименование и цель работы,
- краткие теоретические сведения,
- описание процесса проведения лабораторной работы,
- полученные результаты,
- выводы по полученным результатам.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель лабораторной работы	1
2. Состав используемого оборудования	1
3. Теоретическое введение	1
4. Порядок выполнения лабораторной работе № 1	20
5. Задание к лабораторной работе № 2	23
6. Указания по оформлению отчета по лабораторной работе	26