



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
КАФЕДРА ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

ТЕОРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

(Э2939)

**Методические указания
к лабораторным и самостоятельным работам**

Спец. 220101, 220100.62. 3 курс

Киров, 2009

Э2939

УДК 519. 322

Методические указания для самостоятельных и лабораторных работ по курсу «Теория принятия решений» /ВятГУ. Киров, 2009, 31с./ (Э2939)

Методические указания предназначены для студентов очного обучения специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети» 220101 и для студентов очно-заочного обучения по направлению «Информатика и вычислительная техника» 220100.62.

Составитель доцент кафедры ЭВМ, к.т.н

В.С. Ростовцев

1 Лабораторная работа №1

Целью лабораторной работы является освоение технологии и методики построения экспертных систем на примере разработки учебной экспертной системы. Студент выступает в роли одновременно эксперта и инженера по знаниям.

1.1 Содержание лабораторной работы

1. Знакомство с инструментальным программным обеспечением (ANIES) для построения экспертных систем. В инструментальную систему входят помимо описанной выше экспертной оболочки программа-редактор баз знаний и программа логического вывода.
2. Выбор задачи и предметной области для реализации учебной экспертной системы. Согласование с преподавателем задание на разработку учебной экспертной системы
3. Реализация 1-ой версии базы знаний. Консультации у преподавателя о пути развития базы знаний.
4. Реализация и тестирование базы знаний. Отладка экспертной системы. Тестирование базы знаний учебной экспертной системы;
5. Демонстрация работы учебной экспертной системы преподавателю.
6. Подготовка отчета по лабораторной работе в электронном виде и защита выполненной работы.

В отчет включить титульный лист, цель выполнения лабораторной работы, задание, текст программы на языке ANIES, дерево логического вывода, расчет коэффициентов уверенности по одной из веток и их сравнение с полученными коэффициентами при выполнении программы. Анализ методов логического вывода (прямой, обратный) по критерию времени выполнения. В разделе выводы указать достоинства и недостатки системы ANIES.

1.2 Порядок выполнения лабораторной работы

Составить в текстовом редакторе описание учебной экспертной системы (файл с расширением *.ies). Пример приведен в приложении А. Количество гипотез – не менее 7, количество параметров – не менее 7, число переменных – не менее 2, количество правил определяется студентом из расчета количества используемых ключевых слов IF (не менее 20). Рекомендуются составить не менее 3-х правил.

- Запустить инструментальную систему ANIES в различных режимах логического вывода(прямой и обратный в глубину и в ширину) .

- Демонстрационный прототип экспертной системы предъявить преподавателю.
- Составить в текстовом редакторе Microsoft Word XP (и выше) отчет по лабораторной работе, в которой привести следующие данные:
- Описание задания
- Файл с расширением *.ies
- Дерево логического вывода
- Расчет коэффициентов уверенности для вершин дерева логического вывода и их проверка с помощью системы ANIES
- Выводы по результатам выполнения лабораторной работы (результаты работы в различных режимах логического вывода, достоинства и недостатки системы ANIES).

1.3 Описание работы с программой ANIES

Инструментальная экспертная система «ANIES» является обучающей программой, предназначенной для демонстрации возможностей, которые предоставляют продукционные правила при логическом выводе.

Для работы программы необходим процессор Pentium III, IV, русифицированная версия Windows XP или выше. Программное обеспечение включает в себя выполняемый файл ANIES.EXE.

В процессе работы программы образуются файлы баз знаний *.ies, хранящие ЭС пользователя. Все файлы хранятся в текстовом формате.

Взаимодействие пользователя с инструментальной экспертной системой осуществляется посредством интерфейса пользователя. Одним из основных управляющих элементов интерфейса является главное меню программы, которое состоит из горизонтального меню, содержащего имена основных групп команд, и выпадающих подменю, позволяющих выбрать конкретную команду или режим работы. Такие пункты горизонтального меню, как “Файл”, ”Правка”, являются стандартными для программ. Они содержат набор команд для работы с файловой системой, облегчения редактирования текста. При помощи текстового редактора либо используя режим вставки при помощи пункта меню “Ввод данных” и панели ключевых слов, специалист по ИИ создает структуру БЗ, с использованием продукционных правил “IF-THEN-ELSE”, которая в последствии будет участвовать в обработке данных в режиме интерпретации.

После запуска ЭС пользователь вводит ответы на запрашиваемые системой вопросы с указанием коэффициента уверенности в диапазоне $[-1;1]$. Отвечая, на один вопрос пользователь может указать несколько ответов или ни одного. Отсутствие ответа интерпретируется как коэффициент равный нулю. Также возможно остановить процесс обучения в любой момент. Система, используя машину логического вывода, производит подсчет всех заключений и отображает перечень гипотез. При желании

пользователь может просмотреть ход срабатывания правил экспертной системы в виде протокола решения.

Некоторые пункты меню продублированы кнопками быстрого управления. Контекстно-зависимую помощь по многим элементам интерфейса программы можно получить, подведя курсор мыши к соответствующему элементу.

Разработчику экспертной системы предлагается использовать панели инструментов: гипотез, параметров, ключевых слов при составлении правил. Что позволяет значительно сократить количество ошибок. Также при написании правил можно использовать обычный режим - режим редактирования.

Структура базы знаний предусматривает использование продукционных правил "IF-THEN-ELSE". В приведенном ниже примере Правило1 может быть реализовано с помощью правил "IF-THEN-ELSE".

NAME Правило1

IF на_занятиях неусидчив

THEN темперамент холерик [0,5]

ELSE

IF на_занятиях энергичен

THEN темперамент сангвиник [0,5]

ELSE

IF на_занятиях спокоен

THEN темперамент флегматик [0,5]

ELSE темперамент меланхолик [0,5]

END

1.4 Синтаксис

1. Все правила "IF-THEN-ELSE" и "CASE" должны заканчиваться ключевым словом "END".

2. Все правила "IF-THEN-ELSE" должны обязательно содержать ключевое слово ELSE.

3. При написании гипотез, параметров, наименований правил вместо пробелов необходимо использовать знаки подчёркивания, с целью распознавания окончания. Например, на_занятиях спокоен.

4. При составлении циклов "IF-THEN-ELSE" необходимо проставлять все ключевые слова: IF, THEN, ELSE, даже в случае отсутствия последующих операторов.

Работа с программой состоит из двух этапов: создание, редактирование файла ЭС пользователя и режим выполнения работы ЭС.

1.5 Создание и редактирование базы знаний ЭС

Для начала работы необходимо создать новый проект с помощью команды системы меню **Файл|Новый проект**, затем создать новый файл базы знаний (БЗ) пользователя или загрузить ранее сохраненный файл БЗ с помощью команды системы меню **Файл|Открыть существующую базу знаний (БЗ)**. Пункты меню **Файл|Сохранить** и **Файл|Сохранить как** предназначены для сохранения БЗ пользователя.

При создании проекта пользователь может разбить всю программу на несколько разделов. Например, раздел **ДЕРЕВЬЯ** и раздел **ЦВЕТЫ**, приведенные ниже в примере, сформированы при создании проекта. Если требуется разбить на разделы после создания проекта, то можно использовать команду системы меню **Файл|Коррекция данных проекта** или выполнить редактирование текста программы.

Слияние нескольких ранее созданных баз знаний с помощью команды системы меню **Файл|Объединение файлов в проект**. Файлы с других компьютеров должны быть переписаны в текущий каталог системы.

Редактор базы знаний представляет собой стандартный текстовый редактор. Он позволяет создавать БЗ, которая в последствии будет участвовать в обработке данных интерпретатором. Редактор предусматривает несколько режимов работы:

- Работа с текстом;
- Копирование, удаление, вставка, перемещение блоков;
- Подготовка баз знаний с помощью данного текстового редактора заключается в последовательном выполнении ряда этапов:
 1. набор БЗ;
 2. редактирование БЗ;
 3. открытие ранее разработанного файла БЗ;
 4. сохранение файла БЗ на магнитном диске.

Все операции для работы с текстом базы знаний можно осуществлять либо выбрав один из пунктов главного меню программы, либо путем выбора соответствующей пиктограммы на инструментальной панели редактора, либо путем выбора соответствующего пункта всплывающего меню окна текстового редактора.

Подготовка баз знаний с помощью режима вставки, не только значительно сокращает количество ошибок, но и сокращает временные затраты на создание базы знаний. Он заключается в последовательном выполнении ряда этапов:

1. Открытие ранее разработанного файла БЗ;
2. Ввод гипотез и их значений, параметров и их значений с помощью команды системы меню **ГИПОТЕЗЫ**. Для ввода классов и элементов класса необходимо использовать клавишу **Insert**, а для записи в раздел программы базы знаний необходимо использовать кнопку **ОК**.

3. Для набора разделов программы можно использовать панель инструментов: гипотез, параметров, ключевых слов. Выбор гипотез и значений параметров производится правой кнопкой мыши в поле инструментов ГИПОТЕЗЫ, ПАРАМЕТРЫ.
4. Редактирование БЗ.
5. Сохранение БЗ.

После разработки всех разделов программы ЭС пользователь может запустить ЭС на выполнение. При запуске происходит чтение файла БЗ пользователя.

1.6 Выполнение экспертной системы

Данный режим работы программы заключается в последовательном выполнении ряда этапов:

1. Указание пути исполнения правил с помощью команды системы меню **Настройки | Путь исполнения правил, | Установка заданного пути**, так же можно установить последовательный путь с помощью команды системы меню “**Настройки | Путь исполнения правил | Установка последовательного пути**”;
2. Выбор метода вывода и метода поиска решений с помощью команды системы меню “**Настройки | Выбор метода**”;
3. Запуск ЭС с помощью команды системы меню **Запуск | Автоматический запуск**;
4. Проверка правильности работы системы с помощью команды системы меню **Запуск | Протокол решения**.

1.7 Пример фрагмента учебной экспертной системы

ГИПОТЕЗЫ:

дерево {ёлка, сосна, берёза}

цветок {ромашка, роза}

ПАРАМЕТРЫ:

оперение {листья, иголки}

ветки {вверх, вниз}

хвоя {короткая, длинная}

кора {белая, чёрно_белая, чёрная}

цвет {белый, розовый}

шипы {есть, нет}

РАЗДЕЛ ДЕРЕВЬЯ

NAME Правило1

IF оперение листья AND кора чёрно_белая

THEN дерево берёза [0,9]

ELSE дерево берёза [-0,9]

END

NAME Правило2

IF оперение иголки AND NOT хвоя короткая

THEN дерево сосна [0,9]

ELSE дерево сосна [-0,9]

END

NAME Правило3

IF ветки вверх

THEN дерево берёза [0,5], дерево сосна [0,5], дерево ёлка [-0,5]

ELSE дерево берёза [-0,5], дерево сосна [-0,5], дерево ёлка [0,5]

END

КОНЕЦ РАЗДЕЛА ДЕРЕВЬЯ

NAME Правило5

IF цвет белый

THEN IF шипы есть

THEN цветок роза [0,8]

ELSE цветок ромашка [0,8]

ELSE

END

КОНЕЦ РАЗДЕЛА ЦВЕТЫ

Вопросы для проверки промежуточных знаний

1. Что такое экспертная система, эксперт, инженер знаний, инженирия знаний?
2. Принцип работы машины логического вывода
3. Прямой метод вывода.
4. Обратный метод вывода.
5. Стратегии логического вывода в глубину и в ширину.
6. Вычисление коэффициентов определенности для одного заключения со связкой И, ИЛИ, НЕ.
7. Вычисление коэффициентов определенности для заключения, которое поддерживается несколькими правилами.
8. Что такое обратимые и необратимые правила?
9. Многоступенчатые рассуждения на дереве логического вывода.

Литература

1. Ростовцев, Владимир Сергеевич. Принципы построения экспертных систем: учеб. пособие / Ростовцев, Владимир Сергеевич; ВятГУ, ФАВТ, каф. ЭВМ. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киров: О-Краткое, 2008. - 156с. (50 экз.)

2 Лабораторная работа №2

Целью лабораторной работы является освоение нейросетевой технологии для решения задач классификации и прогнозирования с помощью программы NeuroPro 0.25.

2.1 Содержание лабораторной работы

1. Знакомство с инструментальным программным обеспечением ((NeuroPro 0.25) для решения задач прогнозирования. Описание программы NeuroPro 0.25 приведено ниже.
2. Получение у преподавателя задания по задаче прогнозирования. Создать обучающую выборку с помощью программы Excel в формате *.dbf.
3. Задачу моделирования результатов выполнить для разных вариантов структуры нейросети (не менее 5). Например, вариант 1 - 3 слоя по 10 нейронов в слое; вариант 2 - 3 слоя по 5-7 нейронов в слое и т. п.
4. Зафиксировать результаты, время прогнозирования и значимость входов для каждого из 5-х вариантов.
5. Выбрать и обосновать наилучший вариант нейронной сети.
6. Выполнить упрощение нейронной сети для оптимального варианта структуры. Показать в отчете, какие методы упрощения целесообразно проводить для выбранной структуры нейронной сети.
7. Выбрать и обосновать метод оптимизации для варианта нейронной сети.
8. Привести в отчете анализ значимости входов для выбранного варианта нейронной сети.
9. Демонстрация результатов прогнозирования преподавателю.
10. Подготовка отчета по лабораторной работе в электронном виде и защита выполненной работы.

В отчет включить титульный лист, цель выполнения лабораторной работы, описание задачи моделирования с обучающей выборкой (таблицей входных и выходных данных), таблицу с вариантами структур нейронных сетей, результаты выполнения лабораторной работы и выводы.

2.2 Программа NEUROPRO 0.25

2.2.1 Общие сведения

Программа NeuroPro 0.25 является свободно распространяемой альфа-версией разрабатываемого программного продукта для работы с нейронными

сетями и производства знаний из данных с помощью обучаемых искусственных нейронных сетей.

2.2.2 Требования к аппаратуре

Для работы программы необходим процессор Pentium III(IV); русифицированная версия Windows XP или выше; монитор SVGA с разрешающей способностью 800*600 точек и выше.

2.2.3 Основные возможности программы

1. Создание нейропроекта.
2. Подключение к нейропроекту файла (базы) данных.
3. Редактирование файла данных.
4. Добавление в нейропроект нейронной сети слоистой архитектуры с числом слоев нейронов от 1 до 10, числом нейронов в слое – до 100.
5. Обучение нейронной сети решению задачи предсказания.
6. Тестирование нейронной сети на файле данных.
7. Вычисление показателей значимости каждого из входных сигналов для решения задачи.
8. Упрощение нейронной сети.
9. Генерация и визуализация вербального описания нейронной сети.
10. Выбор алгоритма обучения, назначение требуемой точности прогноза, настройка нейронной сети.
11. Сохранение нейропроекта на диске, запись на диск измененных файлов данных и вербальных описаний нейронных сетей.

В данной программе реализованы только сети 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.

Каждый нейрон сети имеет адаптивный сумматор, вычисляющий взвешенную сумму приходящих на нейрон сигналов, и следующий за ним нелинейный элемент.

Веса адаптивных связей при создании сети принимают случайные значения и при обучении сети могут изменяться в диапазоне $[-1,1]$. Число слоев в сети задается пользователем. Обычно не стоит задавать больше трех слоев нейронов. Число нейронов в слоях может быть различным и не зависеть от числа входных и выходных сигналов сети.

2.2.4 Форматы файлов

В качестве файлов данных (содержащих обучающую выборку для нейронных сетей) используются файлы форматов DBF (форматы пакетов Dbase, FoxBase, FoxPro, Clipper) и DB (Paradox). Возможно чтение и редактирование этих файлов и сохранение измененных файлов на диске. Программа не накладывает ограничений на число записей (строк) в файле данных.

Файлы нейропроекта имеют уникальный формат, поддерживаемый только настоящей программой. В следующих версиях возможно изменение этого формата без сохранения совместимости с настоящей версией.

Файлы вербального описания сети имеют стандартный ASCII-формат текстовых файлов данных и могут читаться всеми программами-редакторами текстов.

2.2.5 Описание меню и порядок работы

Меню программы содержит следующие пункты, относящиеся к нейронным сетям и работе с ними:

Файл - базовые операции с файлами:

Создать - создает новый файл проекта.

Открыть - открывает существующий на диске файл проекта.

Сохранить - сохраняет файл. Возможно сохранение файлов проекта, файлов данных и файлов вербального описания сети.

Сохранить как - сохраняет файл под другим именем. Возможно сохранение файлов проекта, файлов данных и файлов вербального описания сети. См. Окно редактирования файла данных и Окно вербального описания сети.

Выход - завершение работы программы.

Нейросеть - операции с нейронными сетями. Операция выполняется над активной в данный момент в нейропроекте нейросетью.

Обучение - обучение нейронной сети.

Тестирование - тестирование нейронной сети.

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.

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. Настройки действуют в пределах нейропроекта, сохраняются в файле нейропроекта и восстанавливаются при его чтении программой.

Метод оптимизации - выбор метода оптимизации для обучения сети. Из трех реализованных в настоящее время в программе методов (градиентный спуск, модифицированный РarТаn метод и метод сопряженных градиентов) при

создании нейропроекта автоматически предлагается метод «Сопряжённые градиенты».

Норма накопления значимости - выбор нормы накопления градиента при подсчете показателей значимости. При создании нейропроекта автоматически выбирается норма в виде суммы модулей.

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 в панели кнопок. После создания нейропроекта в него можно вставлять нейронные сети и работать с последними. Созданный нейропроект может быть сохранен на диске при помощи команд меню Файл/Сохранить, Файл/Сохранить как или нажатием на кнопку 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 нажать кнопку. Открыть файл данных в окне нейропроекта и далее 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 нейросетей, их обучения, тестирования и упрощения.

Диалог создания нейронной сети предназначен для задания спецификаций для создаваемой нейронной сети. Элементы диалога:

Входы и выходы - лист 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. Варианты:

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 - нейросеть обучается прогнозировать значения этого поля.

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

Оценивание поля - способ оценивания выходного поля при обучении сети.

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 - лист для задания структуры нейронной сети.

Монотонность - создание сети монотонной архитектуры.

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 следующих характеристик:

Число нейронов - число нейронов в слое. Изменяется от 1 до 100. По умолчанию предлагается 10 нейронов в слое.

Нелинейность - вид нелинейного преобразователя 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, используемой нелинейным преобразователем. Может изменяться в диапазоне от 0,0001 до 1 для описанной выше сигмоидной нелинейности. По умолчанию предлагается значение «с», равное 0,1. Чем больше значение характеристики, тем лучше интерполяционные и экстраполяционные способности обученной сети, но, как правило, для этого требуется более длительное обучение.

После последнего слоя нейронов строится слой выходных сумматоров с числом сумматоров, равным числу выходных сигналов сети. Имя сети - имя нейронной сети в списке сетей нейропроекта. **Создать/Изменение** - создание нейронной сети или внесение изменений в ее параметры.

Отменить - отмена создания или изменения параметров нейронной сети.

После создания нейронной сети она появляется в списке сетей нейропроекта и становится активной.

2.2.6 Обучение и тестирование нейронной сети

Для обучения активной в данный момент в нейропроекте нейронной сети необходимо выбрать пункт меню **Нейросеть/Обучение**. Если подключенный к нейропроекту файл данных не содержит необходимых полей (а это возможно, когда создается сеть по одному файлу данных, а далее проверяется ее обучение, тестирование или упрощение по данным из другого файла), то выдается сообщение о несовместимости нейросети 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 пользователь имеет возможность наблюдать процесс обучения и при необходимости самостоятельно завершить обучение нажатием кнопки **Завершить**.

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).

Имея нейронную сеть, можно посмотреть, насколько точно она прогнозирует значения выходных полей в файле данных. Для тестирования нейронной сети необходимо выбрать пункт меню **Нейросеть/Тестирование**. Результат тестирования сети выводится в Окно тестирования сети.

2.2.7 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.

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

2.2.8 Упрощение нейронной сети

Упрощение нейронной сети выполняется на основе вычисленных показателей значимости. Показатели значимости вычисляются в пяти точках в пространстве адаптивных параметров сети и усредняются в одной из норм. Процедура упрощения строится как последовательное исключение из сети наименее значимого входного сигнала или элемента сети, дальнейшее дообучение сети и исключение другого сигнала или элемента, если удалось дообучить сеть до заданной пользователем точности. В противном случае процедура упрощения останавливается.

Предоставляются следующие возможности по упрощению сети:

- сокращение числа входных сигналов;
- сокращение числа синапсов сети;
- сокращение числа неоднородных входов нейронов сети;
- равномерное упрощение сети, чтобы на каждый нейрон сети приходило не более n сигналов.

- Бинаризация весов синапсов и неоднородных входов сети. Бинаризованные синапсы и неоднородные входы в дальнейшем не обучаются. Нейрон сети считается отконтрастированным, если у него удалены все выходы или его сигнал не используется нейронами следующего слоя. Входной сигнал считается отконтрастированным, если отконтрастированы все синапсы, по которым он подавался сети. Отконтрастированные элементы физически остаются в нейронной сети, но при генерации вербального описания сети не вносятся в вербальное описание.

2.2.9 Вербализация нейронной сети

При генерации вербального описания в тексте перечисляются используемые поля файла данных, правила их предобработки для подачи сети, описание нелинейных функций нейронов, функционирование нейронной сети послойно и понейронно, правила нормировки выходных сигналов сети в диапазон истинных значений. Сигналам, генерируемым нейронами сети, присваиваются некоторые имена и в дальнейшем пользователь при анализе сети может именовать эти сигналы в терминах проблемной области.

2.2.10 Пример задания по лабораторной работе

Тема: "Нейронные сети"

Выполнить прогнозирование цены садового участка 6500 при конкретных значениях 10 факторов (входов), используя инструментальную систему NeuroPro 0.25.

Число соток	Состояние земли	Водопровод	Колодец	Электричество	Теплица	Парник	Дом	Удаленность от города	Рейсовые маршруты	Цена участка
6	1	0	1	1	1	0	1	20	2	4000
6	2	0	1	1	1	0	1	20	2	6000
6	2	1	1	1	2	1	2	10	1	10000
6	0	1	1	1	1	1	3	20	2	7000
6	1	1	0	1	0	1	3	10	2	8000
3	2	1	1	1	2	1	3	10	2	6000
10	2	1	1	1	2	1	3	30	2	10000
5	2	0	1	1	1	0	3	140	2	6000
4	2	0	1	1	0	2	2	60	3	2000
7	0	0	1	0	1	2	3	10	1	3000
3	2	1	1	1	2	1	3	80	2	3700
5	2	1	1	1	1	1	2	50	2	4500
20	1	1	1	1	0	1	3	120	1	10000
5	2	0	1	1	1	1	1	15	1	5000
6	1	1	0	0	0	2	3	20	2	7500
3	2	1	1	1	1	0	2	10	1	4200
15	1	0	1	1	3	2	3	70	2	8200
5	0	1	1	0	1	1	1	8	1	5300
6	2	1	0	1	1	0	2	5	1	7000
3	1	1	1	0	1	1	2	3	1	6500

Входы:

1. Число соток.
2. Состояние земли.
3. Наличие водопровода.
4. Наличие колодца.
5. Наличие электричества.
6. Наличие теплиц.

7. Наличие парников.

8. Дом.

9. Расстояние до города (км).

10. Автобусные маршруты и электрички.

Выход: цена участка (руб.).**Вопросы для проверки промежуточных знаний**

10. Что такое обучающая выборка?
11. Требования к полям обучающей выборки.
12. Что характеризует константа Липшица.
13. Что такое такт и цикл обучения нейронной сети?
14. Чем определяется архитектура нейронной сети?
15. В чём суть методов контрастирования?
16. На что влияет параметр крутизны сигмоидальной функции?
17. Недостатки алгоритма обучения методом обратного распространения ошибки.
18. Что такое режим тестирования нейронной сети?
19. что такое нормализация и денормализация обучающей выборки?

Литература

1. Комарцова, Людмила Георгиевна. Нейрокомпьютеры: Учеб. пос. / Комарцова, Людмила Георгиевна, Максимов, Александр Викторович. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 320с. - (Информатика в техническом университете). (в библиотеке –8 экз.).
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации/ пер. с польского И.Д. Рудинского.-М.: Финансы и статистика, 2002.-344с. (в библиотеке –6 экз.).
3. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн.4; Учеб. пос. для вузов/Общая ред. А.И. Галушкина.-М.: ИПРЖР, 2001.-256с. (в библиотеке –2 экз.)
4. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры. Кн.3: Учеб. пос./ Общая ред. А.И. Галушкина.-М.: ИПРЖР, 2000.-528с. (в библиотеке –2 экз.).
5. Рутковская Д. и др. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польского И.Д. Рудницкого М.: Горячая линия- Телеком, 2004.-452с. (в библиотеке –3 экз.).
6. Ростовцев, Владимир Сергеевич. Принципы построения экспертных систем: учеб. пособие / Ростовцев, Владимир Сергеевич; ВятГУ, ФАВТ, каф. ЭВМ. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киров: О-Краткое, 2008. - 156с. (50 экз.)

3 Лабораторная работа №3

Тема: «Моделирование работы нейросетевой экспертной системы»

Целью лабораторной работы является использование нейросетевой технологии для решения задач создания экспертной системы с помощью программы NeuroPro 0.25.

3.1 Содержание лабораторной работы

1. В качестве задания использовать разработанную учебную экспертную систему в первой лабораторной работе с помощью оболочки ANIES.

2. С помощью программы Excel создать обучающую выборку, которая представляет базу знаний ЭС и сохранить в формате *.dbf.. Для этой цели запустить несколько раз программу ANIES. Выписать параметры в качестве входов нейронной сети, а ответ сети – в качестве выходов. Создать не менее 20 обучающих примеров с входами и выходами нейронной сети. Затем сформировать не менее 5 входных векторов для тестирования нейронной сети, проверив их на программе ANIES. Обучающую выборку с 5 входными векторами сохранить в формате *.dbf.

3. Пример структуры обучающей выборки должна соответствовать таблице 3.1. Входные поля обозначены V1,V2,...,V10 , а выходные поля обозначены OUT1, OUT2,...,OUT7.

Таблица 3.1-Структура обучающей выборки

Номер примера	V1	V2	V _i	V10	OUT1	...	OUT7
1	0.4	0.3	0.5	0.9	0.78		0.25
2	0.45	0.78	0.65	0.55	0.82		0.63
3	-0.23	0.58	0.86	0.9	0.75		-0.23
...	
20	0,9	0,5	0,7	0,9	0,88		0,55
Входной вектор1	0.4	0.3	0.5	0.4			
Входной вектор2	0.45	0.78	0.69	0.35			
Входной вектор3	0.23	0.58	0.88	0.2			
Входной вектор4	0,98	0,58	0,77	0,19			
Входной вектор5	0,98	0,58	0,78	0,79			

4. Запустить программу NeuroPro. Создать не менее 5-7 вариантов нейронной сети и выбрать оптимальную нейронную сеть по критерию минимальной средней ошибки обучения.
5. Составить таблицу со сравнительными характеристиками результатов моделирования на программе NeuroPro и на программе ANIES(см.

таблицу 3.2).

Таблица 3.2-Сравнительные характеристики продукционной и нейросетевой экспертной системы

Номер примера	V1	V2	Vi	V10	OUT1		OUTi		OUT7	
					ANIES	NeuroPro	ANIES	NeuroPro	ANIES	NeuroPro
Входной вектор1	0.4	0.3	0.5	0.4	0,78	0,81				
Входной вектор2	0.45	0.78	- 0.69	0.35			0,94	0,89		
Входной вектор3	-0.23	0.58	0.88	0.2					0,56	0,64
Входной вектор4	0,98	- 0,58	0,77	0,19			0,45	0,39		
Входной вектор5	0,98	0,58	0,78	0,79					0,58	0,71

6. Привести в отчете сравнительный анализ результатов работы учебной экспертной системы и результатов моделирования работы экспертной системы с помощью нейронной сети.
7. Демонстрация результатов работы преподавателю.
8. Подготовка отчета по лабораторной работе в электронном виде и защита выполненной работы.

В отчет включить титульный лист, цель выполнения лабораторной работы, описание задачи моделирования с обучающей выборкой (таблицу 3.1), таблицу с вариантами структур нейронных сетей, результаты выполнения лабораторной работы (таблицу 3.2) и сформулировать выводы.

Вопросы для проверки промежуточных знаний

1. Как представлена база знаний в нейросетевой экспертной системе?
2. Требования к полям обучающей выборки.
3. Достоинства и недостатки нейросетевой экспертной системы.
4. Как определить оптимальную архитектуру нейронной сети?
5. Что такое режим тестирования нейронной сети?
6. Какие нейросетевые экспертные системы вы знаете и их принципы построения?

7. Какие нейропакеты могут быть использованы при создании нейросетевой экспертной системы?
8. Что такое дообучение и переобучение нейронной сети?

Литература

1. Ростовцев, Владимир Сергеевич. Принципы построения экспертных систем: учеб. пособие / Ростовцев, Владимир Сергеевич; ВятГУ, ФАВТ, каф. ЭВМ. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киров: О-Краткое, 2008. - 156с. (50 экз.)
2. Комарцова, Людмила Георгиевна. Нейрокомпьютеры: Учеб. пос. / Комарцова, Людмила Георгиевна, Максимов, Александр Викторович. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. - 320с. - (Информатика в техническом университете). (в библиотеке –8 экз.).
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации/ пер. с польского И.Д. Рудинского.-М.: Финансы и статистика, 2002.-344с. (в библиотеке –6 экз.).
4. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн.4; Учеб. пос. для вузов/Общая ред. А.И. Галушкина.-М.: ИПРЖР, 2001.-256с. (в библиотеке –2 экз.)
5. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры. Кн.3: Учеб. пос./ Общая ред. А.И. Галушкина.-М.: ИПРЖР, 2000.-528с. (в библиотеке –2 экз.).
7. Рутковская Д. и др. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польского И.Д. Рудницкого М.: Горячая линия- Телеком, 2004.-452с. (в библиотеке –3 экз.).

4 Лабораторная работа № 4

Тема: «Исследование работы генетического алгоритма»

Целью лабораторной работы является изучение принципов работы генетического алгоритма и анализ влияния параметров генетического алгоритма на качество его работы. Работа выполняется с помощью программы Genetic.exe, разработанной на кафедре ЭВМ.

Вариант задания выдаётся студенту преподавателем.

Таблица 4.1- Варианты задания

Номер варианта	Вид функции	Диапазон изменения параметров	Экстремум
1	$F(x,y)=-x \cdot e^{-x^2-y^2}$	$x[0;10]$ $y[0;10]$	max
2	$F(x,y)=-x \cdot e^{-x^2-y^2}$	$x[0;10]$ $y[0;10]$	min
3	$F(x,y)=-x^2 \cdot e^{1-x^2-20 \cdot (x-y)^2}$	$x[0,01;0,5]$ $y[1;2]$	max
4	$F(x,y)=-x^2 \cdot e^{1-x^2-20 \cdot (x-y)^2}$	$x[0;10]$ $y[0;10]$	min
5	$F(x,y)=-x^2+0,5 \cdot y+(1-1,5 \cdot x)^2+(1-2 \cdot y)^2$	$x[0;10]$ $y[0;10]$	max
6	$F(x,y)=-x^2+0,5 \cdot y+(1-1,5 \cdot x)^2+(1-2 \cdot y)^2$	$x[0;10]$ $y[0;10]$	min
7	$F(x,y)=(x-2)^2+(y-5)^2+(z+2)^2-16-x+y-z$	$x[0;10]$	max

		y[0;10] z[0;5]	
8	$F(x,y)=(x-2)^2+(y-5)^2+(z+2)^2-16-x+y-z$	x[0;10] y[0;10] z[0;5]	min
9	$F(x,y)=-x^2-y^2+10*\cos(x)+10*\sin(y)$	x[0;10] y[0;10]	max
10	$F(x,y)=-x^2-y^2+10*\cos(x)+10*\sin(y)$	x[0;10] y[0;10]	Min
11	$F(x,y)=x^2+y^2+40*\sin(x)*\sin(y)$	x[0;10] y[0;10]	max
12	$F(x,y)=x^2+y^2+40*\sin(x)*\sin(y)$	x[0;10] y[0;10]	Min
13	$F(x,y)=e^{(x+y)} / e^{(x^2+y^2)}$	x[0;2] y[0;2]	max
14	$F(x,y)=e^{(x+y)} / e^{(x^2+y^2)}$	x[0;2] y[0;2]	Min
15	$F(x,y)=(y+1)^2-x^2+y^2+(z-1)^2+z^2-(x+1)^2$	x[0;10] y[0;10] z[0;5]	max
16	$F(x,y)=(y+1)^2-x^2+y^2+(z-1)^2+z^2-(x+1)^2$	x[0;10] y[0;10] z[0;5]	Min

17	$F(x,y) = (x-1)^2 + (y+2)^2 + (z-2)^2 + (t+1)^2 + z - y + x - t$	$x[0;10]$ $y[0;10]$ $z[0;5]$ $t[0;10]$	max
18	$F(x,y) = (x-1)^2 + (y+2)^2 + (z-2)^2 + (t+1)^2 + z - y + x - t$	$x[0;10]$ $y[0;10]$ $z[0;5]$ $t[0;10]$	Min
19	$F(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2$	$[-10; +10]$	Min
20	$F(x_1, x_2, x_3) = x_1^2 + x_2^2 +$	$[-5; +5]$	Min
21	$F(x_1, x_2) = 20 + x_1 * x_1 + x_2 * x_2 - 10 * \cos(x_1) - 10 * \cos(x_2)$	$[-10; +10]$	max

4.1 Порядок выполнения лабораторной работы

4.1.1 Ознакомиться с теоретической частью лабораторной работы, приведенной в подразделе 4.2.

4.1.2 Получить задание у преподавателя по виду исследуемой функции (см. таблицу 4.1). Задание включает две задачи:

- исследование генетического алгоритма в задаче оптимизации многопараметрической функции;
- решение задачи коммивояжера для 6 городов. Матрицу расстояний (6×6) для задачи коммивояжера заполнить самостоятельно с нулевой главной диагональю.

4.1.3 Найти экстремум функции в соответствии с заданием и решить задачу коммивояжера размерностью 6×6 . Стоимость переезда между городами в данной матрице задать самостоятельно.

4.1.4 Запустить программу Genetic.exe.

4.1.5 Диапазон изменения параметра X для исследуемой функции устанавливается студентом в окне НАСТРОЙКИ/ ПАРАМЕТРЫ.

4.1.6 Выполнить эксперименты (для различных параметров), приведенных в таблице 4.2, для четырёх критериев останова генетического алгоритма:

- амплитуда колебаний среднего значения;
- максимум равен среднему значению;
- стабилизация максимума;
- стабилизация среднего значения.

Выбрать эффективный метод останова алгоритма и дальнейшие исследования проводить с выбранным методом останова генетического алгоритма.

Таблица 4.2 – Исследование однотоочного и двух точечного кроссовера

Эксперимент	Оператор отбора	Элитизм (%)	Размер популяции	Коэффициент	Вероятность инверсии	Вероятность перестановки	Вероятность редукции, %	Количество поколений	Значение функции
1	Рулетка	0	5	70	10	10	60		
2	Рулетка	5	10	70	10	10	70		
3	Рулетка	10	20	80	20	20	80		
4	Рулетка	20	30	80	20	20	90		
5	Турнирный отбор	0	5	70	10	10	60		
6	Турнирный отбор	5	10	80	20	20	70		
7	Турнирный отбор	10	20	80	30	30	80		
8	Турнирный отбор	20	30	90	40	30	90		

4.1.7 По результатам исследования составить отчет, в котором привести:

- задание с видом исследуемой функции и матрицу расстояний для задачи коммивояжера;
- таблицу 4.3 с экспериментами и результатами поиска экстремума для каждого из них (количество поколений и значение функции, при которых зафиксирован останов алгоритма);
- проверить полученные данные нахождения экстремума с помощью других программных средств (Excel, MathCAD и другие);
- указать критерий останова генетического алгоритма, выбранный для решения задачи оптимизации;
- для задачи коммивояжера привести оптимальный путь коммивояжера и вычисленную целевую функцию и данные по скрещиванию и формированию двух поколений;
- выполнить сравнительный анализ и сделать выводы по результатам поиска экстремума для заданной функции (какие параметры генетического алгоритма обеспечивают высокую производительность и точность приближения к эталонному экстремуму функции).

Таблица 4.3

Эксперимент	Оператор отбора	Элитизм (%)	Размер популяции	Коэффициент размножения	Вероятность инверсии	Вероятность перестановки	Вероятность редукции, %	Количество поколений	Значение функции
1	Рулетка	0	5	70	10	10	60		
2	Рулетка	5	10	70	10	10	70		
3	Рулетка	10	20	80	20	20	80		
4	Рулетка	20	30	80	20	20	90		
5	Турнирный отбор	0	5	70	10	10	60		
6	Турнирный отбор	5	10	80	20	20	70		
7	Турнирный отбор	10	20	80	30	30	80		
8	Турнирный отбор	20	30	90	40	30	90		

4.2 Краткое описание работы с программой

Выполнить настройки в соответствии с рисунком 4.1 . Для этого в меню Задача выбрать команду настройки. При решении задачи коммивояжера сначала установить значение оператора кроссовера -

изошренный, а затем на вкладке ПАРАМЕТРЫ щелкнуть по кнопке МАТРИЦА и ввести данные матрицы.

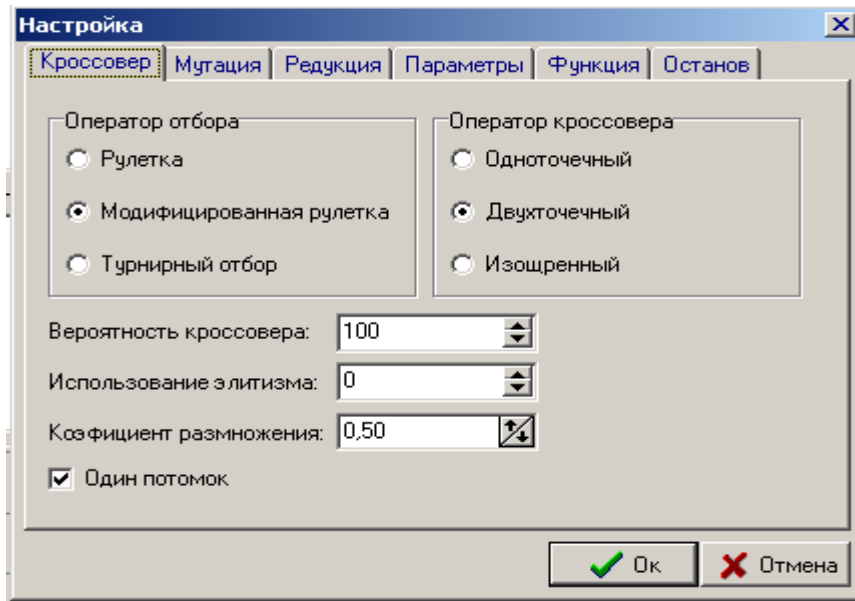


Рисунок 4.1

- выбрать однотоочечный или двухточечный кроссовер;
- вероятность (например, 90%);
- Сколько элитных особей перемещать в следующее поколение;
- вероятность инверсии или перестановки (вкладка МУТАЦИЯ);
- размер популяции и вид поиска минимум или максимум (вкладка РЕДУКЦИЯ);
- типы аргументов создаваемой функции (вкладка ПАРАМЕТРЫ);
- введите функцию для анализа по ГА (вкладка ФУНКЦИЯ);
- . Для этого в поле ИМЯ ФУНКЦИИ введите, например, Func1, а в поле ФУНКЦИЯ. – вид функции, например, $X^2 - 5X + 2$. Если требуется проверить, щелкните по кнопке ПРОВЕРИТЬ. После завершения – кнопка ОК;
- задайте критерий останова (вкладка ОСТАНОВ). Фрагмент окна приведен на рисунке 4.2.

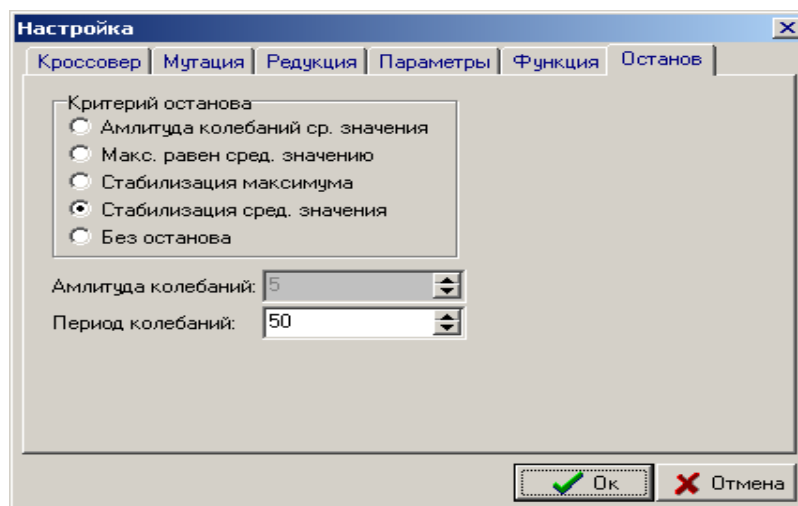


Рисунок 4.2

Для задания параметров работы программы выберите в меню ОПЦИИ команду ПАРАМЕТРЫ (см. рисунок 4.3).

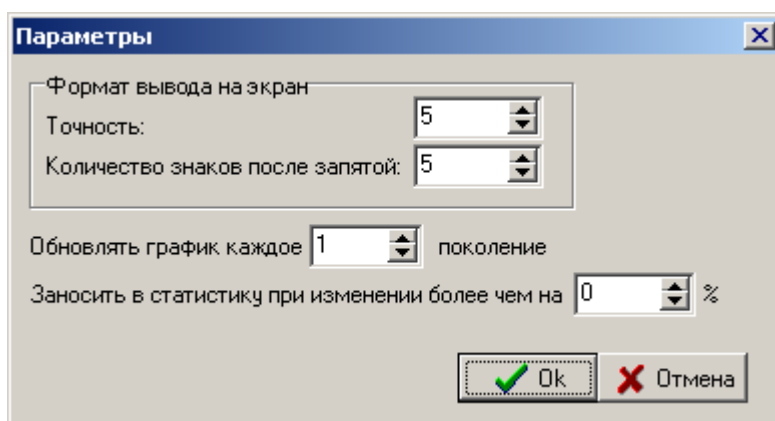


Рисунок 4.3

Для запуска генетического алгоритма в меню ЗАДАЧА выберите команду ЗАПУСК или ШАГ. После завершения работы на экране появится окно (см. рисунок 4.4).

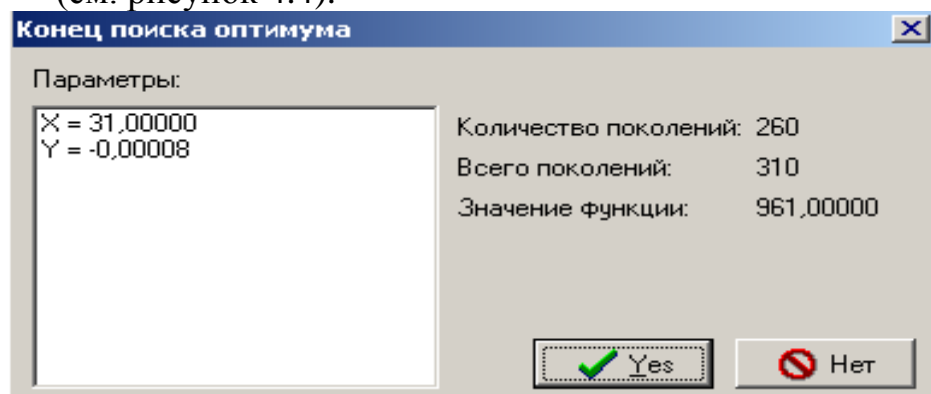


Рисунок 4.4

4.3 Описание пунктов меню

Меню файл. Данный пункт позволяет сохранять и загружать настройки проекта. Также имеется возможность сделать один из проектов “по умолчанию”, т.е. настройки будут загружаться при старте программы.

Описание пункта *меню правка*. Имеется возможность добавлять и удалять особь в популяцию, а также редактировать параметры особи.

Описание пункта *меню просмотр*. Позволяет настроить формат вывода параметров хромосомы на экран. Имеется два способа вывода: битовые двоичные строки, десятичные параметры. Здесь же имеется возможность просмотреть статистику проекта.

Описание пункта *меню задача*. Позволяет запускать проект на исполнение, прерывать, трассировать и принудительно завершать. Кроме того, здесь же возможно настроить параметры проекта.

Описание *настроек проекта*. Форма настроек включает в себя следующие закладки: “кроссовер”, “мутация”, “редукция”, “параметры”, “функция”, “останов”.

В закладке **“кроссовер”** возможна настройка оператора отбора и оператора кроссовера.

Возможен выбор следующих видов оператора отбора: рулетка, модифицированная рулетка и турнирный отбор. Вероятность участия особи в размножении по методу «рулетка» определяется формулой

$$p = \frac{100}{S} \quad \text{при Max=Min поиск минимума}$$

Где p - вероятность участия особи в размножении;

S – размер популяции;

K - коэффициент размножения.

$$p = 100 * K * \frac{Max - F}{Max - Min} \quad \text{при поиске максимума}$$

$$p = 100 * K * \frac{F - Min}{(Max - Min)} \quad \text{при поиске минимума}$$

Max – максимальное значение функции в текущей популяции;

Min – минимальное значение функции в текущей популяции;

F – значение функции в текущей популяции для текущей хромосомы;

Вероятность участия особи в размножении по методу «модифицированная рулетка» определяется формулой (при поиске минимума)

$$p = \frac{100}{S}$$

$$p = 21.7147242 * K * \ln \left(1 + 100 * \frac{Max - F}{Max - Min} \right) \quad \text{при поиске максимума}$$

Как видно из приведенных формул, используется не стандартная рулетка, в которой вероятность определяется отношением значения функции особи к сумме значений функций для всех особей. В данной реализации можно заметить, что множество всех возможных значений функций в

$$p = 21.7147242 * K * \ln \left(1 + 100 * \frac{F - \text{Min}}{(\text{Max} - \text{Min})} \right)$$

интервале от минимума до максимума равномерно (при стандартной рулетке) и логарифмически (при модифицированной рулетке) проецируется на множество от 0 до 100, т.е. вероятность размножения. Такой подход, позволяет резко повысить рождаемость.

Турнирный отбор. В этом методе выбираются две произвольные особи, и победителем является особь с наилучшими параметрами.

Возможен выбор оператора кроссовера: одноточечный, двухточечный и изощренный.

При одноточечном кроссовере случайным образом выбирается единственная точка разрыва. В двухточечном кроссовере случайным образом выбираются две точки разрыва.

Изощренный кроссовер реализован для задачи коммивояжера и является модификацией двухточечного кроссовера.

Здесь же возможно задать вероятность кроссовера, использование стратегии элитизма, задать коэффициент размножения и использование только одного потомка.

Вероятность кроссовера (задается в процентах) ограничивает число воспроизводимых потомков.

Параметр использование элитизма (задается в процентах) определяет процент элитных особей от размера популяции. На элитные особи не распространяется оператор редукции.

При малой вероятности редукции возможна ситуация, когда размер популяции будет неограниченно расти. Для предотвращения этого используется коэффициент размножения, который ограничивает рождаемость.

При использовании одного из двух потомков после скрещивания выбирается только один с вероятностью 50%.

В закладке “мутация” возможна настройка оператора мутации и оператора инверсии.

Имеется возможность задать вероятность инверсии, вероятность перестановки, вероятность оператора инверсии (задается в процентах).

Количество мутаций над особью неограниченно, хотя и зависит от вероятности мутации.

$$P = P_m^k$$

где P_m – вероятность мутации;
 k – количество мутаций.

В закладке “редукция” возможна настройка оператора редукции. Возможен выбор оператора редукции:

- поиск минимума функции;
- поиск максимума функции.

Здесь же возможно задать размер поколения, а также вероятность редукции. При вероятности редукции меньше 100%, размер популяции является динамическим и меняется случайным образом. Однако меньше “размера популяции” опускаться не может.

В закладке “параметры” возможна настройка параметров функции. Имеется два типа параметров: Integer, Float. Каждый параметр имеет имя, диапазон (в пределах которого он может изменяться), количество бит, выделяемое под параметр. Каждый параметр может интерпретироваться двояко: как двоичная строка и как строка из кодов Грея.

В закладке “функции” необходимо задать функцию. Функция включает в себя имя, и собственно саму функцию. Основная функция – функция значение, которой будет интерпретироваться как значение особи. Остальные функции могут входить в параметры основной.

В закладке “останов” возможно, задать способ останова. Также можно задать амплитуду колебаний (в процентах) и период колебаний (в поколениях).

Имеются следующие критерии останова:

- амплитуда колебаний среднего значения. Останов происходит, когда в течение периода колебаний не происходит изменения среднего значения более чем на амплитуду колебаний;
- максимум равен среднему значению. Останов происходит, когда в течение периода колебаний среднее значения становится приблизительно равным максимуму (в пределах амплитуды колебаний);
- стабилизация максимума. Останов происходит, когда в течение периода колебаний максимальное значение не меняется;
- стабилизация среднего значения. Останов происходит, когда в течение периода колебаний среднее значение не меняется;
- без останова;
- останов происходит по прерыванию от пользователя.

Вопросы для проверки промежуточных знаний

1. Для решения каких интеллектуальных задач используются генетические алгоритмы?
2. Последовательность применения операторов в генетическом алгоритме
3. Принципы работы операторов генетического алгоритма
4. Сколько элитных особей можно переводить в следующее поколение
5. Назначение оператора мутации при решении многопараметрических задач
6. Преимущества и недостатки генетических алгоритмов
7. Как формируется расширенная популяция?
8. Как выбираются особи оператором редукции?
9. Что влияет на сходимость генетического алгоритма?
10. Принцип работы изоэлированного кроссовера.
11. Преимущества генетических алгоритмов.
12. Основные термины генетических алгоритмов.
13. Этапы выполнения генетического алгоритма.
14. Применение стратегии элитизма в генетических алгоритмах.
15. Принцип работы оператора селекции (отбора).
16. Принцип работы операторов скрещивания.
17. Принцип работы операторов мутации.
18. Преимущества различных операторов мутации
19. Принцип работы оператора редукции.
20. Результат работы генетического алгоритма.
21. Что даёт применение кода Грея.

Литература

1. Ростовцев, Владимир Сергеевич. Принципы построения экспертных систем: учеб. пособие / Ростовцев, Владимир Сергеевич; ВятГУ, ФАВТ, каф. ЭВМ. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киров: О-Краткое, 2008. - 156с. (50 экз.)
2. Holland J.H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
3. Рутковская Д. и др. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польского И.Д. Рудницкого М.: Горячая линия- Телеком, 2004.-452с.