**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»  
Институт математики и информационных систем  
Факультет автоматики и вычислительной техники  
Кафедра электронных вычислительных машин

Исследование многослойного персептрона с обучением по методу с обратным распространением ошибки

Отчёт

### Лабораторная работа № 1 по дисциплине

«Системы обработки знаний»

Выполнила студентка группы ИВТ-41\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/Жеребцов К. А./

## Проверил доцент кафедры ЭВМ\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/Ростовцев В.С./

Киров 2024

**Цель**

Изучить алгоритм обратного распространения ошибки (ОРО) в процессе обучения нейронной сети при вариативных параметрах обучения. Работа выполняется с помощью программы BackPropagate 3.0.0.exe.

**1 Задание**

Обучающая выборка представлена в приложении А. Используется выходная функция out = 2\*X1-2\*X2+X3^2. Переменная x1 изменяется в промежутке [-5;4], x2 изменяется в промежутке [-5;4], переменная x3 изменяется в промежутке [-6;4].

**2 Протокол выполнения**

Во всех таблицах ниже цветом выделен наилучший результат. Значение минимальной ошибки не учитывалось при выборе.

**2.1 Влияние нормализации на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 1000

В таблице 1 показаны результаты исследования.

Таблица 1 – Влияние нормализации на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Тип нормализации | Результат |
| Без нормализации | Максимальная ошибка: 43,84  Минимальная ошибка: 0  Средняя ошибка: 28,57  Среднеквадратичная ошибка: 42169,59 |
| [0;1] | Максимальная ошибка: 11,46  Минимальная ошибка: 0,0766  Средняя ошибка: 3,81  Среднеквадратичная ошибка: 940,52 |
| [-0.5;0.5] | Максимальная ошибка: 21,26  Минимальная ошибка: 0,3679  Средняя ошибка: 10,73  Среднеквадратичная ошибка: 6074,34 |
| [-1;1] | Максимальная ошибка: 42  Минимальная ошибка: 5,9999  Средняя ошибка: 15,16  Среднеквадратичная ошибка: 14784,87 |

**2.2 Влияние выбора примеров на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 100.

Нормализация: [0;1].

В таблице 2 показаны результаты исследования.

Таблица 2 – Влияние выбора примеров на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Выбор примеров | Результат |
| Последовательный | Максимальная ошибка: 12,31  Минимальная ошибка: 0,0508  Средняя ошибка: 3,79  Среднеквадратичная ошибка: 983,40 |
| Случайный | Максимальная ошибка: 11,32  Минимальная ошибка: 0,0341  Средняя ошибка: 3,76  Среднеквадратичная ошибка: 923,11 |

**2.3 Влияние крутизны функции на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 1000.

Нормализация: [0;1].

Выбор примеров: случайный.

В таблице 3 показаны результаты исследования.

Таблица 3 – Влияние крутизны функции на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Крутизна функции | Результат |
| 0,1 | Максимальная ошибка: 26,82  Минимальная ошибка: 0,1550  Средняя ошибка: 8,27  Среднеквадратичная ошибка: 4544,66 |
| 0,5 | Максимальная ошибка: 11,05  Минимальная ошибка: 0,0742  Средняя ошибка: 3,69  Среднеквадратичная ошибка: 913,61 |
| 1,0 | Максимальная ошибка: 5,98  Минимальная ошибка: 0,0115  Средняя ошибка: 2,37  Среднеквадратичная ошибка: 409,02 |
| 3,0 | Максимальная ошибка: 6,12  Минимальная ошибка: 0,0029  Средняя ошибка: 1,49  Среднеквадратичная ошибка: 165,62 |

**2.4 Влияние смещения на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 1000

Нормализация: [0;1].

Выбор примеров: случайный.

Крутизна функции: 3.

В таблице 4 показаны результаты исследования.

Таблица 4 – Влияние смещения на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Смещение | Результат |
| 0,1 | Максимальная ошибка: 6,68  Минимальная ошибка: 0,0305  Средняя ошибка: 1,41  Среднеквадратичная ошибка: 175,02 |
| 0,5 | Максимальная ошибка: 5,94  Минимальная ошибка: 0.0243  Средняя ошибка: 1.43  Среднеквадратичная ошибка: 153,99 |
| 1,0 | Максимальная ошибка: 6,07  Минимальная ошибка: 0,0141  Средняя ошибка: 1,52  Среднеквадратичная ошибка: 170,15 |
| 2,0 | Максимальная ошибка: 6,17  Минимальная ошибка: 0,0174  Средняя ошибка: 1,44  Среднеквадратичная ошибка: 160.87 |

**2.5 Влияние скорости обучения на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 1000.

Нормализация: [0;1].

Выбор примеров: случайный.

Крутизна функции: 3.

Смещение: 0,5.

В таблице 5 показаны результаты исследования.

Таблица 5 – Влияние скорости обучения на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Скорость обучения | Результат |
| 0,01 | Максимальная ошибка: 25,51  Минимальная ошибка: 0,0307  Средняя ошибка: 7,77  Среднеквадратичная ошибка: 4058,34 |
| 0,1 | Максимальная ошибка: 7,10  Минимальная ошибка: 0,0443  Средняя ошибка: 1,60  Среднеквадратичная ошибка: 221,24 |
| 0,5 | Максимальная ошибка: 6,09  Минимальная ошибка: 0,0091  Средняя ошибка: 1,48  Среднеквадратичная ошибка: 157,55 |
| 1,0 | Максимальная ошибка: 5,24  Минимальная ошибка: 0,0287  Средняя ошибка: 1,38  Среднеквадратичная ошибка: 128,95 |

**2.6 Влияние количества нейронов в скрытом слое на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 1000.

Нормализация: [0;1].

Выбор примеров: случайный.

Крутизна функции: 3.

Смещение: 0,5.

Скорость обучения: 1.

В таблице 6 показаны результаты исследования.

Таблица 6 – Влияние количества нейронов в скрытом слое на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Количество нейронов в скрытом слое | Результат |
| 1 | Максимальная ошибка: 5,94  Минимальная ошибка: 0.0057  Средняя ошибка: 1,50  Среднеквадратичная ошибка: 160,02 |
| 5 | Максимальная ошибка: 4,10  Минимальная ошибка: 0,0155  Средняя ошибка: 0,86  Среднеквадратичная ошибка: 53,58 |
| 10 | Максимальная ошибка: 4,17  Минимальная ошибка: 0,0068  Средняя ошибка: 0,88  Среднеквадратичная ошибка: 55,21 |

**2.7 Влияние момента на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 1000.

Нормализация: [0;1].

Выбор примеров: случайный.

Крутизна функции: 3.

Смещение: 0,5.

Скорость обучения: 1.

Количество нейронов в скрытом слое: 10.

В таблице 7 показаны результаты исследования.

Таблица 7 – Влияние момента на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Момент |  | Результат |
| Без момента |  | Максимальная ошибка: 4,30  Минимальная ошибка: 0,0043  Средняя ошибка: 1,13  Среднеквадратичная ошибка: 81,84 |
| 0,1 |  | Максимальная ошибка: 5,58  Минимальная ошибка: 0,0767  Средняя ошибка: 1,37  Среднеквадратичная ошибка: 134,39 |
| 0,5 |  | Максимальная ошибка: 35,96  Минимальная ошибка: 0,0471  Средняя ошибка: 26,80  Среднеквадратичная ошибка: 36522,24 |
| 1,0 |  | Максимальная ошибка: 35,99  Минимальная ошибка: 0,0003  Средняя ошибка: 26,84  Среднеквадратичная ошибка: 36614,15 |

**3 Ручной расчет**

Для более подробного изучения алгоритма ОРО в режиме трассировки был сделан один проход (включающий прямое и обратное распространение), а затем те же самые действия были произведены вручную.

На рисунке 1 показана трассировка первого прохода при обучении сети.

На рисунке 2 показана структура сети.

Трассировка:

Условия останова обучения нейронной сети:

Циклов обучения: 1000

Инициализация весов синапсов случайным образом...

Нейрон[1][1]

w[1, 1, 1] = 0,084

w[1, 1, 2] = 0,86

w[1, 1, 3] = 0,872

Вес смещения:

w[1, 1, 4] = 1

Нейрон[1][2]

w[1, 2, 1] = 0,664

w[1, 2, 2] = -0,684

w[1, 2, 3] = -0,748

Вес смещения:

w[1, 2, 4] = 1

Нейрон[1][3]

w[1, 3, 1] = -0,97

w[1, 3, 2] = 0,406

w[1, 3, 3] = 0,044

Вес смещения:

w[1, 3, 4] = 1

Нейрон[1][4]

w[1, 4, 1] = -0,438

w[1, 4, 2] = -0,266

w[1, 4, 3] = -0,684

Вес смещения:

w[1, 4, 4] = 1

Нейрон[1][5]

w[1, 5, 1] = -0,134

w[1, 5, 2] = 0,448

w[1, 5, 3] = -0,03

Вес смещения:

w[1, 5, 4] = 1

Нейрон[1][6]

w[1, 6, 1] = 0,662

w[1, 6, 2] = -0,438

w[1, 6, 3] = 0,392

Вес смещения:

w[1, 6, 4] = 1

Нейрон[1][7]

w[1, 7, 1] = 0,422

w[1, 7, 2] = 0,476

w[1, 7, 3] = -0,156

Вес смещения:

w[1, 7, 4] = 1

Нейрон[1][8]

w[1, 8, 1] = 0,814

w[1, 8, 2] = 0,94

w[1, 8, 3] = -0,946

Вес смещения:

w[1, 8, 4] = 1

Нейрон[1][9]

w[1, 9, 1] = 0,524

w[1, 9, 2] = -0,076

w[1, 9, 3] = 0,448

Вес смещения:

w[1, 9, 4] = 1

Нейрон[1][10]

w[1, 10, 1] = -0,326

w[1, 10, 2] = 0,158

w[1, 10, 3] = 0,126

Вес смещения:

w[1, 10, 4] = 1

Нейрон[2][1]

w[2, 1, 1] = -0,838

w[2, 1, 2] = 0,984

w[2, 1, 3] = -0,872

w[2, 1, 4] = -0,122

w[2, 1, 5] = -0,174

w[2, 1, 6] = 0,226

w[2, 1, 7] = 0,858

w[2, 1, 8] = -0,002

w[2, 1, 9] = -0,512

w[2, 1, 10] = 0,392

Вес смещения:

w[2, 1, 11] = 1

Выбираем допустимый образ из обучающего множества...

0,154762

0,154762

0,130952

0,14881

Подаем сигнал на вход нейронной сети...

Нейрон[0][1]

Аксон = 0,154762

Нейрон[0][2]

Аксон = 0,154762

Нейрон[0][3]

Аксон = 0,130952

Прямая волна...

Нейрон[1][1]

Взвешенная сумма = 0,760285472

Аксон = 0,9072791169

Нейрон[1][2]

Взвешенная сумма = 0,398952664

Аксон = 0,7679653662

Нейрон[1][3]

Взвешенная сумма = 0,41847612

Аксон = 0,7782381216

Нейрон[1][4]

Взвешенная сумма = 0,301476384

Аксон = 0,7118588436

Нейрон[1][5]

Взвешенная сумма = 0,544666708

Аксон = 0,836716879

Нейрон[1][6]

Взвешенная сумма = 0,585999872

Аксон = 0,8529589492

Нейрон[1][7]

Взвешенная сумма = 0,618547764

Аксон = 0,8647883296

Нейрон[1][8]

Взвешенная сумма = 0,647571956

Аксон = 0,8746502068

Нейрон[1][9]

Взвешенная сумма = 0,627999872

Аксон = 0,8680698555

Нейрон[1][10]

Взвешенная сумма = 0,490499936

Аксон = 0,8132852424

Нейрон[2][1]

Взвешенная сумма = 0,8916827204

Аксон = 0,6096500264

Обратная волна - подсчет локальной ошибки нейронов...

Подсчет локальной ошибки нейронов на выходе нейронной сети...

Желаемый сигнал на выходе:

0,14881

Прогнозируемый сигнал на выходе нейронной сети:

0,6096500264

Нейрон[2][1]

Локальная ошибка = 0,05483463392

Подсчет локальной ошибки нейронов в скрытых слоях нейронной сети...

Нейрон[1][1]

Локальная ошибка = -0,01159681411

Нейрон[1][2]

Локальная ошибка = 0,02884468159

Нейрон[1][3]

Локальная ошибка = -0,0247566616

Нейрон[1][4]

Локальная ошибка = -0,004116567238

Нейрон[1][5]

Локальная ошибка = -0,003910616914

Нейрон[1][6]

Локальная ошибка = 0,004662849199

Нейрон[1][7]

Локальная ошибка = 0,01650393442

Нейрон[1][8]

Локальная ошибка = -3,607150177E-5

Нейрон[1][9]

Локальная ошибка = -0,009645947135

Нейрон[1][10]

Локальная ошибка = 0,009792279637

Коррекция весов синапсов...

w[1, 1, 1] = 0,07240318589

w[1, 1, 2] = 0,8484031859

w[1, 1, 3] = 0,8604031859

Вес смещения:

w[1, 1, 4] = 0,9884031859

w[1, 2, 1] = 0,6928446816

w[1, 2, 2] = -0,6551553184

w[1, 2, 3] = -0,7191553184

Вес смещения:

w[1, 2, 4] = 1,028844682

w[1, 3, 1] = -0,9947566616

w[1, 3, 2] = 0,3812433384

w[1, 3, 3] = 0,0192433384

Вес смещения:

w[1, 3, 4] = 0,9752433384

w[1, 4, 1] = -0,4421165672

w[1, 4, 2] = -0,2701165672

w[1, 4, 3] = -0,6881165672

Вес смещения:

w[1, 4, 4] = 0,9958834328

w[1, 5, 1] = -0,1379106169

w[1, 5, 2] = 0,4440893831

w[1, 5, 3] = -0,03391061691

Вес смещения:

w[1, 5, 4] = 0,9960893831

w[1, 6, 1] = 0,6666628492

w[1, 6, 2] = -0,4333371508

w[1, 6, 3] = 0,3966628492

Вес смещения:

w[1, 6, 4] = 1,004662849

w[1, 7, 1] = 0,4385039344

w[1, 7, 2] = 0,4925039344

w[1, 7, 3] = -0,1394960656

Вес смещения:

w[1, 7, 4] = 1,016503934

w[1, 8, 1] = 0,8139639285

w[1, 8, 2] = 0,9399639285

w[1, 8, 3] = -0,9460360715

Вес смещения:

w[1, 8, 4] = 0,9999639285

w[1, 9, 1] = 0,5143540529

w[1, 9, 2] = -0,08564594713

w[1, 9, 3] = 0,4383540529

Вес смещения:

w[1, 9, 4] = 0,9903540529

w[1, 10, 1] = -0,3162077204

w[1, 10, 2] = 0,1677922796

w[1, 10, 3] = 0,1357922796

Вес смещения:

w[1, 10, 4] = 1,00979228

w[2, 1, 1] = -0,7831653661

w[2, 1, 2] = 1,038834634

w[2, 1, 3] = -0,8171653661

w[2, 1, 4] = -0,06716536608

w[2, 1, 5] = -0,1191653661

w[2, 1, 6] = 0,2808346339

w[2, 1, 7] = 0,9128346339

w[2, 1, 8] = 0,05283463392

w[2, 1, 9] = -0,4571653661

w[2, 1, 10] = 0,4468346339

Вес смещения:

w[2, 1, 11] = 1,054834634

Выбираем допустимый образ из обучающего множества...

0,090476

0,090476

0,066667

0,386667

Подаем сигнал на вход нейронной сети...

Нейрон[0][1]

Аксон = 0,090476

Нейрон[0][2]

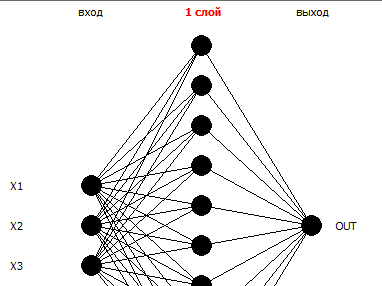
Аксон = 0,090476

Нейрон[0][3]

Аксон = 0,066667

Прямая волна...

Рисунок 1 – Трассировка первого прохода



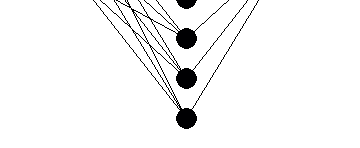


Рисунок 2 – Структура сети

В качестве активационной функции взята

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где – взвешенная сумма входов i-го нейрона (с учетом смещения);

– коэффициент крутизны. Для всех слоев = 0,5, а для выходного 1.

В таблице 8 показан расчет прямой волны.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ Слоя** | **№ Нейрона** | **№ Выхода** | **Входной сигнал xi** | **Весовой коэффициент wij** | **Смешение wi0** | **Вес смещения** | **wij \* xi** | **Взвешенная сумма Si** | **Выход нейрона yi = F(Si)** |
| Вход | 1 | 1 | 0,154762 | - | - | - | - | - | 0,154762 |
| 2 | 1 | 0,154762 | - | - | - | - | - | 0,154762 |
| 3 | 1 | 0,130952 | - | - | - | - | - | 0,130952 |
| 1 | 1 | 1 | 0,154762 | 0,084 | 0,5 | 1 | 0,013000008 | 0,760285472 | 0,907279117 |
| 2 | 0,154762 | 0,86 | 0,13309532 |
| 3 | 0,130952 | 0,872 | 0,114190144 |
| 2 | 1 | 0,154762 | 0,664 | 0,5 | 1 | 0,102761968 | 0,398952664 | 0,767965366 |
| 2 | 0,154762 | -0,684 | -0,105857208 |
| 3 | 0,130952 | -0,748 | -0,097952096 |
| 3 | 1 | 0,154762 | -0,97 | 0,5 | 1 | -0,15011914 | 0,41847612 | 0,778238122 |
| 2 | 0,154762 | 0,406 | 0,062833372 |
| 3 | 0,130952 | 0,044 | 0,005761888 |
| 4 | 1 | 0,154762 | -0,438 | 0,5 | 1 | -0,067785756 | 0,301476384 | 0,711858844 |
| 2 | 0,154762 | -0,266 | -0,041166692 |
| 3 | 0,130952 | -0,684 | -0,089571168 |
| 5 | 1 | 0,154762 | -0,134 | 0,5 | 1 | -0,020738108 | 0,544666708 | 0,836716879 |
| 2 | 0,154762 | 0,448 | 0,069333376 |
| 3 | 0,130952 | -0,03 | -0,00392856 |
| 6 | 1 | 0,154762 | 0,662 | 0,5 | 1 | 0,102452444 | 0,585999872 | 0,852958949 |
| 2 | 0,154762 | -0,438 | -0,067785756 |
| 3 | 0,130952 | 0,392 | 0,051333184 |
| 7 | 1 | 0,154762 | 0,422 | 0,5 | 1 | 0,065309564 | 0,618547764 | 0,86478833 |
| 2 | 0,154762 | 0,476 | 0,073666712 |
| 3 | 0,130952 | -0,156 | -0,020428512 |
| 8 | 1 | 0,154762 | 0,814 | 0,5 | 1 | 0,125976268 | 0,647571956 | 0,874650207 |
| 2 | 0,154762 | 0,94 | 0,14547628 |
| 3 | 0,130952 | -0,946 | -0,123880592 |
| 9 | 1 | 0,154762 | 0,524 | 0,5 | 1 | 0,081095288 | 0,627999872 | 0,868069856 |
| 2 | 0,154762 | -0,076 | -0,011761912 |
| 3 | 0,130952 | 0,448 | 0,058666496 |
| 10 | 1 | 0,154762 | -0,326 | 0,5 | 1 | -0,050452412 | 0,490499936 | 0,813285242 |
| 2 | 0,154762 | 0,158 | 0,024452396 |
| 3 | 0,130952 | 0,126 | 0,016499952 |
| Выход | 1 | 1 | 0,9072791 | -0,838 | 1 | 1 | -0,7602999 | 0,89168272 | 0,609650026 |
| 2 | 0,7679654 | 0,984 | 0,75567792 |
| 3 | 0,7782381 | -0,872 | -0,678623642 |
| 4 | 0,7118588 | -0,122 | -0,086846779 |
| 5 | 0,8367169 | -0,174 | -0,145588737 |
| 6 | 0,8529589 | 0,226 | 0,192768723 |
| 7 | 0,8647883 | 0,858 | 0,741988387 |
| 8 | 0,8746502 | -0,002 | -0,0017493 |
| 9 | 0,8680699 | -0,512 | -0,444451766 |
| 10 | 0,8132852 | 0,392 | 0,318807815 |

Для расчета ошибок необходимо найти производную функции (1) по :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Тогда ошибка единственного нейрона выходного слоя буден найдена как

где – фактическое значение его выхода;

– желаемый сигнал на выходе.

Ошибка i-го нейрона скрытого слоя будет найдена как

где – ошибка выходного слоя;

– синаптическая связь между i-м нейроном скрытого слоя и j-м нейроном выходного слоя.

В таблице 9 показан расчет ошибок.

Таблица 9 – Расчет ошибок

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ слоя** | **№ нейрона** | **Si** | **F'(Si)** | **Ошибка** |
| 1 | 1 | 0,76028547 | 0,252371163 | -0,01159681 |
| 2 | 0,39895266 | 0,534583688 | 0,028844682 |
| 3 | 0,41847612 | 0,517750643 | -0,02475666 |
| 4 | 0,30147638 | 0,615347491 | -0,00411657 |
| 5 | 0,54466671 | 0,40986523 | -0,00391062 |
| 6 | 0,58599987 | 0,376259941 | 0,004662849 |
| 7 | 0,61854776 | 0,350788424 | 0,016503934 |
| 8 | 0,64757196 | 0,328911668 | -3,6072E-05 |
| 9 | 0,62799987 | 0,343573744 | -0,00964595 |
| 10 | 0,49049994 | 0,455557071 | 0,00979228 |
| Выход | 1 | 0,89168272 | 0,118988436 | 0,054834634 |

Коррекция веса синапса производится по следующей формуле:

Коррекция веса смещения производится по следующей формуле:

В таблице 10 показан расчет новых весов.

Значения в таблицах 8,9 полностью совпадают со значениями на рис. 1.

Скорректированные веса в таблице 10 совпадают с искомыми с точностью не менее трех знаков после запятой; погрешность можно объяснить ошибками округления и расчетов с плавающей запятой в разных средах.

Таким образом, ручной расчет выполнен верно.

Таблица 10 – Расчет новых весов.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ слоя** | **№ нейрона** | **№ выхода** | **Предыдущий весовой коэффициент wij(t)** | **Предыдущий вес смещения Tj(t)** | **Новый весовой коэффициент wij(t+1)** | **Новый вес смещения Tj(t+1)** |
| 1 | 1 | 1 | 0,084 | 1 | 0,085794746 | 1,005798407 |
| 2 | 0,86 | 0,861794746 |
| 3 | 0,872 | 0,873518626 |
| 2 | 1 | 0,664 | 1 | 0,659535939 | 0,985577659 |
| 2 | -0,684 | -0,688464061 |
| 3 | -0,748 | -0,751777269 |
| 3 | 1 | -0,97 | 1 | -0,96616861 | 1,012378331 |
| 2 | 0,406 | 0,40983139 |
| 3 | 0,044 | 0,047241934 |
| 4 | 1 | -0,438 | 1 | -0,437362912 | 1,002058284 |
| 2 | -0,266 | -0,265362912 |
| 3 | -0,684 | -0,683460927 |
| 5 | 1 | -0,134 | 1 | -0,133394785 | 1,001955308 |
| 2 | 0,448 | 0,448605215 |
| 3 | -0,03 | -0,029487897 |
| 6 | 1 | 0,662 | 1 | 0,661278368 | 0,997668575 |
| 2 | -0,438 | -0,438721632 |
| 3 | 0,392 | 0,391389391 |
| 7 | 1 | 0,422 | 1 | 0,419445818 | 0,991748033 |
| 2 | 0,476 | 0,473445818 |
| 3 | -0,156 | -0,158161223 |
| 8 | 1 | 0,814 | 1 | 0,814005582 | 1,000018036 |
| 2 | 0,94 | 0,940005582 |
| 3 | -0,946 | -0,945995276 |
| 9 | 1 | 0,524 | 1 | 0,525492826 | 1,004822974 |
| 2 | -0,076 | -0,074507174 |
| 3 | 0,448 | 0,449263156 |
| 10 | 1 | -0,326 | 1 | -0,327515473 | 0,99510386 |
| 2 | 0,158 | 0,156484527 |
| 3 | 0,126 | 0,124717681 |
| Выход | 1 | 1 | -0,838 | 1 | -0,887750318 | 0,945165366 |
| 2 | 0,984 | 0,9418889 |
| 3 | -0,872 | -0,914674403 |
| 4 | -0,122 | -0,161034519 |
| 5 | -0,174 | -0,219881064 |
| 6 | 0,226 | 0,179228308 |
| 7 | 0,858 | 0,810579649 |
| 8 | -0,002 | -0,049961124 |
| 9 | -0,512 | -0,559600293 |
| 10 | 0,392 | 0,347403801 |

**4 Выводы**

В ходе выполнения лабораторной работы был исследован алгоритм ОРО при обучении многослойной НС, а также влияние различных параметров на качество обучения.

Наибольшее влияние на качество обучения показали нормализация, крутизна функции и величина момента. Влияние других параметров, таких как смещение, скорость обучения и количество нейронов в скрытом слое были значительно меньше. При этом, случайный выбор примеров улучшил результаты работы, его использование предпочтительно для избегания привыкания сети.

Оптимальные параметры, выбранные для решения данной задачи:

Число входов: 3; Число выходов: 1; Циклов обучения: 1000; Нормализация: [0;1]; Выбор примеров: случайный; Крутизна функции: 3; Смещение: 0,5; Скорость обучения: 1; Количество нейронов в скрытом слое: 10.

Работе алгоритма ОРО была проверена ручным расчетом одного прохода. Вычисленные вручную значения совпали практически точно, разница с рассчитанными автоматически возникла из-за округлений и погрешностей в вычислениях.