**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 ПИб-4301\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/Дащенко А.А./

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

Киров 2023

**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 = X1^2\*X2+X3. Переменная x1 изменяется в промежутке [-5;6], x2 изменяется в промежутке [-6;5], переменная x3 изменяется в промежутке [-7;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: 500

В таблице 1 показаны результаты исследования.

Таблица 1 – Влияние нормализации на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Тип нормализации | Результат |
| Без нормализации | Максимальная ошибка: 14,7  Минимальная ошибка: 0  Средняя ошибка: 7,1  Среднеквадратичная ошибка: 1659 |
| [0;1] | Максимальная ошибка: 7,1  Минимальная ошибка: 0,075  Средняя ошибка: 3,47  Среднеквадратичная ошибка: 388,8 |
| [-0.5;0.5] | Максимальная ошибка: 7,57  Минимальная ошибка: 0,085  Средняя ошибка: 3,672  Среднеквадратичная ошибка: 441,56 |
| [-1;1] | Максимальная ошибка: 5,5  Минимальная ошибка: 0,021  Средняя ошибка: 1,87  Среднеквадратичная ошибка: 144 |

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

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 500.

Нормализация: [-1;1].

В таблице 2 показаны результаты исследования.

Таблица 2 – Влияние выбора примеров на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Выбор примеров | Результат |
| Последовательный | Максимальная ошибка: 5,65  Минимальная ошибка: 0,0068  Средняя ошибка: 1,621  Среднеквадратичная ошибка: 130,065 |
| Случайный | Максимальная ошибка: 5,71  Минимальная ошибка: 0,0139  Средняя ошибка: 1,766  Среднеквадратичная ошибка: 140,48 |

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

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 500.

Нормализация: [-1;1].

Выбор примеров: последовательный.

В таблице 3 показаны результаты исследования.

Таблица 3 – Влияние крутизны функции на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Крутизна функции | Результат |
| 0,1 | Максимальная ошибка: 7,58  Минимальная ошибка: 0,0189  Средняя ошибка: 3,609  Среднеквадратичная ошибка: 423,106 |
| 0,5 | Максимальная ошибка: 5,72  Минимальная ошибка: 0,0196  Средняя ошибка: 1,63  Среднеквадратичная ошибка: 137,7 |
| 1,0 | Максимальная ошибка: 6,07  Минимальная ошибка: 0,0094  Средняя ошибка: 1,53  Среднеквадратичная ошибка: 139,3 |
| 3,0 | Максимальная ошибка: 6,14  Минимальная ошибка: 0,0101  Средняя ошибка: 1,49  Среднеквадратичная ошибка: 138,28 |

**2.4 Влияние смещения на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 500

Нормализация: [-1;1].

Выбор примеров: последовательный.

Крутизна функции: 0,5.

В таблице 4 показаны результаты исследования.

Таблица 4 – Влияние смещения на эффективность алгоритма ОРО

|  |  |
| --- | --- |
| Смещение | Результат |
| 0,1 | Максимальная ошибка: 5,7  Минимальная ошибка: 0,022  Средняя ошибка: 1.69  Среднеквадратичная ошибка: 136.38 |
| 0,5 | Максимальная ошибка: 6.08  Минимальная ошибка: 0.0116  Средняя ошибка: 1.48  Среднеквадратичная ошибка: 136.75 |
| 1,0 | Максимальная ошибка: 5.31  Минимальная ошибка: 0.0402  Средняя ошибка: 1.89  Среднеквадратичная ошибка: 140.09 |
| 2,0 | Максимальная ошибка: 5.73  Минимальная ошибка: 0.02366  Средняя ошибка: 1.759  Среднеквадратичная ошибка: 140.78 |

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

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 500.

Нормализация: [-1;1].

Выбор примеров: последовательный.

Крутизна функции: 0,5.

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: 7.306  Минимальная ошибка: 0,134  Средняя ошибка: 3.422  Среднеквадратичная ошибка: 381.077 |
| 0,1 | Максимальная ошибка: 5.407  Минимальная ошибка: 0.028  Средняя ошибка: 1.85  Среднеквадратичная ошибка: 139.2 |
| 0,5 | Максимальная ошибка: 5.74  Минимальная ошибка: 0.0033  Средняя ошибка: 1.39  Среднеквадратичная ошибка: 120.42 |
| 1,0 | Максимальная ошибка: 16.8  Минимальная ошибка: 2.1  Средняя ошибка: 9.625  Среднеквадратичная ошибка: 2671.73 |

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

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 500.

Нормализация: [-1;1].

Выбор примеров: последовательный.

Крутизна функции: 0,5.

Смещение: 0,5.

Скорость обучения: 0.5.

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: 5.89  Минимальная ошибка: 0.00968  Средняя ошибка: 1.4436  Среднеквадратичная ошибка: 128.84 |
| 5 | Максимальная ошибка: 5.35  Минимальная ошибка: 0.015  Средняя ошибка: 1.409  Среднеквадратичная ошибка: 108.77 |
| 10 | Максимальная ошибка: 5.27  Минимальная ошибка: 0.158  Средняя ошибка: 1.384  Среднеквадратичная ошибка: 104.51 |

**2.7 Влияние момента на эффективность алгоритма ОРО**

Число входов: 3.

Число выходов: 1.

Циклов обучения: 500.

Нормализация: [-1;1].

Выбор примеров: последовательный.

Крутизна функции: 0,5.

Смещение: 0,5.

Скорость обучения: 0.5.

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: 5.821  Минимальная ошибка: 0.0079  Средняя ошибка: 1.37  Среднеквадратичная ошибка: 120.06 |
| 0,1 |  | Максимальная ошибка: 5.001  Минимальная ошибка: 0.00479  Средняя ошибка: 1.519  Среднеквадратичная ошибка: 105.202 |
| 0,5 |  | Максимальная ошибка: 14.67  Минимальная ошибка: 0  Средняя ошибка: 7.17  Среднеквадратичная ошибка: 1682.77 |
| 1,0 |  | Максимальная ошибка: 14.69  Минимальная ошибка: 2  Средняя ошибка: 7.174  Среднеквадратичная ошибка: 1683.63 |

**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: 500

Инициализация весов синапсов случайным образом...

Нейрон[1][1]

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

w[1, 1, 2] = -0,892

w[1, 1, 3] = 0,374

Вес смещения:

w[1, 1, 4] = 1

Нейрон[1][2]

w[1, 2, 1] = -0,572

w[1, 2, 2] = 0,276

w[1, 2, 3] = -0,22

Вес смещения:

w[1, 2, 4] = 1

Нейрон[1][3]

w[1, 3, 1] = 0,056

w[1, 3, 2] = 0,308

w[1, 3, 3] = -0,184

Вес смещения:

w[1, 3, 4] = 1

Нейрон[1][4]

w[1, 4, 1] = -0,604

w[1, 4, 2] = -0,322

w[1, 4, 3] = 0,342

Вес смещения:

w[1, 4, 4] = 1

Нейрон[1][5]

w[1, 5, 1] = 0,106

w[1, 5, 2] = -0,704

w[1, 5, 3] = 0,402

Вес смещения:

w[1, 5, 4] = 1

Нейрон[1][6]

w[1, 6, 1] = 0,594

w[1, 6, 2] = -0,676

w[1, 6, 3] = 0,254

Вес смещения:

w[1, 6, 4] = 1

Нейрон[1][7]

w[1, 7, 1] = -0,998

w[1, 7, 2] = -0,076

w[1, 7, 3] = -0,27

Вес смещения:

w[1, 7, 4] = 1

Нейрон[1][8]

w[1, 8, 1] = -0,212

w[1, 8, 2] = -0,502

w[1, 8, 3] = -0,216

Вес смещения:

w[1, 8, 4] = 1

Нейрон[1][9]

w[1, 9, 1] = -0,304

w[1, 9, 2] = -0,586

w[1, 9, 3] = -0,18

Вес смещения:

w[1, 9, 4] = 1

Нейрон[1][10]

w[1, 10, 1] = 0,084

w[1, 10, 2] = 0,794

w[1, 10, 3] = -0,188

Вес смещения:

w[1, 10, 4] = 1

Нейрон[2][1]

w[2, 1, 1] = -0,04

w[2, 1, 2] = 0,26

w[2, 1, 3] = -0,784

w[2, 1, 4] = -0,504

w[2, 1, 5] = -0,734

w[2, 1, 6] = 0,558

w[2, 1, 7] = -0,24

w[2, 1, 8] = 0,494

w[2, 1, 9] = 0,622

w[2, 1, 10] = -0,956

Вес смещения:

w[2, 1, 11] = 1

Выбираем допустимый образ из обучающего множества...

-0,857143

-0,869048

-0,97619

-0,678571

Подаем сигнал на вход нейронной сети...

Нейрон[0][1]

Аксон = -0,857143

Нейрон[0][2]

Аксон = -0,869048

Нейрон[0][3]

Аксон = -0,97619

Прямая волна...

Нейрон[1][1]

Взвешенная сумма = 1,647238736

Аксон = 0,3900081818

Нейрон[1][2]

Взвешенная сумма = 0,965190348

Аксон = 0,2367209995

Нейрон[1][3]

Взвешенная сумма = 0,363952168

Аксон = 0,0907377794

Нейрон[1][4]

Взвешенная сумма = 0,963690848

Аксон = 0,2363671

Нейрон[1][5]

Взвешенная сумма = 0,628524254

Аксон = 0,1558505112

Нейрон[1][6]

Взвешенная сумма = 0,330381246

Аксон = 0,08240800128

Нейрон[1][7]

Взвешенная сумма = 1,685047662

Аксон = 0,3979929952

Нейрон[1][8]

Взвешенная сумма = 1,328833452

Аксон = 0,3205036913

Нейрон[1][9]

Взвешенная сумма = 1,4455478

Аксон = 0,3464351121

Нейрон[1][10]

Взвешенная сумма = -0,078500404

Аксон = -0,01962258189

Нейрон[2][1]

Взвешенная сумма = 1,084321417

Аксон = 0,2646298207

Обратная волна - подсчет локальной ошибки нейронов...

Подсчет локальной ошибки нейронов на выходе нейронной сети...

Желаемый сигнал на выходе:

-0,678571

Прогнозируемый сигнал на выходе нейронной сети:

0,2646298207

Нейрон[2][1]

Локальная ошибка = 0,1835477085

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

Нейрон[1][1]

Локальная ошибка = -0,001746653209

Нейрон[1][2]

Локальная ошибка = 0,008622682894

Нейрон[1][3]

Локальная ошибка = -0,01187250396

Нейрон[1][4]

Локальная ошибка = -0,01669748881

Нейрон[1][5]

Локальная ошибка = -0,01772444396

Нейрон[1][6]

Локальная ошибка = 0,007744656579

Нейрон[1][7]

Локальная ошибка = -0,01055448827

Нейрон[1][8]

Локальная ошибка = 0,01974676934

Нейрон[1][9]

Локальная ошибка = 0,02584937019

Нейрон[1][10]

Локальная ошибка = 0,003510770615

Коррекция весов синапсов...

w[1, 1, 1] = -0,8607485658

w[1, 1, 2] = -0,8927589627

w[1, 1, 3] = 0,3731474673

Вес смещения:

w[1, 1, 4] = 1,000436663

w[1, 2, 1] = -0,5683045639

w[1, 2, 2] = 0,2797467627

w[1, 2, 3] = -0,2157913116

Вес смещения:

w[1, 2, 4] = 0,9978443293

w[1, 3, 1] = 0,05091178317

w[1, 3, 2] = 0,3028411121

w[1, 3, 3] = -0,1897949098

Вес смещения:

w[1, 3, 4] = 1,002968126

w[1, 4, 1] = -0,6111560678

w[1, 4, 2] = -0,3292554596

w[1, 4, 3] = 0,3338500392

Вес смещения:

w[1, 4, 4] = 1,004174372

w[1, 5, 1] = 0,09840380846

w[1, 5, 2] = -0,7117016963

w[1, 5, 3] = 0,3933487875

Вес смещения:

w[1, 5, 4] = 1,004431111

w[1, 6, 1] = 0,5973191391

w[1, 6, 2] = -0,6726347608

w[1, 6, 3] = 0,2577801282

Вес смещения:

w[1, 6, 4] = 0,9980638359

w[1, 7, 1] = -1,002523353

w[1, 7, 2] = -0,08058617846

w[1, 7, 3] = -0,275151593

Вес смещения:

w[1, 7, 4] = 1,002638622

w[1, 8, 1] = -0,2035370974

w[1, 8, 2] = -0,4934195548

w[1, 8, 3] = -0,2063617006

Вес смещения:

w[1, 8, 4] = 0,9950633077

w[1, 9, 1] = -0,2929216966

w[1, 9, 2] = -0,5747678283

w[1, 9, 3] = -0,1673830517

Вес смещения:

w[1, 9, 4] = 0,9935376575

w[1, 10, 1] = 0,08550461623

w[1, 10, 2] = 0,7955255141

w[1, 10, 3] = -0,1862864104

Вес смещения:

w[1, 10, 4] = 0,9991223073

w[2, 1, 1] = -0,07579255403

w[2, 1, 2] = 0,2382752015

w[2, 1, 3] = -0,7923273557

w[2, 1, 4] = -0,5256923198

w[2, 1, 5] = -0,7483030021

w[2, 1, 6] = 0,5504371001

w[2, 1, 7] = -0,2765253511

w[2, 1, 8] = 0,4645861409

w[2, 1, 9] = 0,5902063145

w[2, 1, 10] = -0,95419916

Вес смещения:

w[2, 1, 11] = 0,9082261458

Выбираем допустимый образ из обучающего множества...

-0,845238

-0,857143

-0,964286

-0,642857

Подаем сигнал на вход нейронной сети...

Нейрон[0][1]

Аксон = -0,845238

Нейрон[0][2]

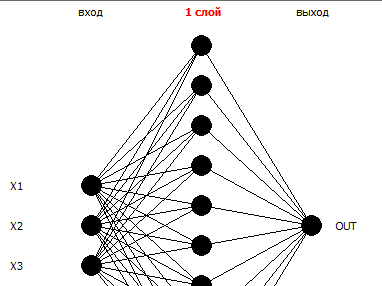
Аксон = -0,857143

Нейрон[0][3]

Аксон = -0,964286

Прямая волна...

Рисунок 1 – Трассировка первого прохода



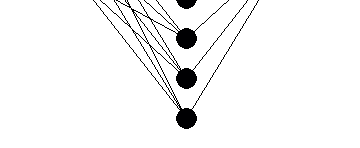


Рисунок 2 – Структура сети

В качестве активационной функции взята

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

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

– коэффициент крутизны. Для всех слоев = 0,5.

В таблице 8 показан расчет прямой волны.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ Слоя** | **№ Нейрона** | **№ Выхода** | **Входной сигнал xi** | **Весовой коэффициент wij** | **Смещение wi0** | **Вес смещения** | **wij \* xi** | **Взвешенная сумма Si** | **Выход нейрона yi = F(Si)** |
| Вход | 1 | 1 | 0,071429 | - | - | - | - | - | 0,071429 |
| 2 | 1 | 0,065476 | - | - | - | - | - | 0,065476 |
| 3 | 1 | 0,011905 | - | - | - | - | - | 0,011905 |
| 1 | 1 | 1 | 0,071429 | -0,86 | 0,5 | 1 | -0,061 | 0,384618938 | 0,547929743 |
| 2 | 0,065476 | -0,892 | -0,058 |
| 3 | 0,011905 | 0,374 | 0,0045 |
| 2 | 1 | 0,071429 | -0,572 | 0,5 | 1 | -0,041 | 0,474594888 | 0,55904754 |
| 2 | 0,065476 | 0,276 | 0,0181 |
| 3 | 0,011905 | -0,22 | -0,003 |
| 3 | 1 | 0,071429 | 0,056 | 0,5 | 1 | 0,004 | 0,521976112 | 0,564879162 |
| 2 | 0,065476 | 0,308 | 0,0202 |
| 3 | 0,011905 | -0,184 | -0,002 |
| 4 | 1 | 0,071429 | -0,604 | 0,5 | 1 | -0,043 | 0,439845122 | 0,554760108 |
| 2 | 0,065476 | -0,322 | -0,021 |
| 3 | 0,011905 | 0,342 | 0,0041 |
| 5 | 1 | 0,071429 | 0,106 | 0,5 | 1 | 0,0076 | 0,46626218 | 0,558020226 |
| 2 | 0,065476 | -0,704 | -0,046 |
| 3 | 0,011905 | 0,402 | 0,0048 |
| 6 | 1 | 0,071429 | 0,594 | 0,5 | 1 | 0,0424 | 0,50119092 | 0,562323058 |
| 2 | 0,065476 | -0,676 | -0,044 |
| 3 | 0,011905 | 0,254 | 0,003 |
| 7 | 1 | 0,071429 | -0,998 | 0,5 | 1 | -0,071 | 0,420523332 | 0,552372609 |
| 2 | 0,065476 | -0,076 | -0,005 |
| 3 | 0,011905 | -0,27 | -0,003 |
| 8 | 1 | 0,071429 | -0,212 | 0,5 | 1 | -0,015 | 0,44941662 | 0,555941882 |
| 2 | 0,065476 | -0,502 | -0,033 |
| 3 | 0,011905 | -0,216 | -0,003 |
| 9 | 1 | 0,071429 | -0,304 | 0,5 | 1 | -0,022 | 0,437773748 | 0,554504277 |
| 2 | 0,065476 | -0,586 | -0,038 |
| 3 | 0,011905 | -0,18 | -0,002 |
| 10 | 1 | 0,071429 | 0,084 | 0,5 | 1 | 0,006 | 0,55574984 | 0,569025155 |
| 2 | 0,065476 | 0,794 | 0,052 |
| 3 | 0,011905 | -0,188 | -0,002 |
| Выход | 1 | 1 | 0,5479297 | -0,04 | 1 | 1 | -0,022 | 0,248139709 | 0,530977736 |
| 2 | 0,5590475 | 0,26 | 0,1454 |
| 3 | 0,5648792 | -0,784 | -0,443 |
| 4 | 0,5547601 | -0,504 | -0,28 |
| 5 | 0,5580202 | -0,734 | -0,41 |
| 6 | 0,5623231 | 0,558 | 0,3138 |
| 7 | 0,5523726 | -0,24 | -0,133 |
| 8 | 0,5559419 | 0,494 | 0,2746 |
| 9 | 0,5545043 | 0,622 | 0,3449 |
| 10 | 0,5690252 | -0,956 | -0,544 |

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 | 0,38461894 | 0,12385137 | -0,00022841 |
| 2 | 0,47459489 | 0,123256694 | 0,001477525 |
| 3 | 0,52197611 | 0,122895347 | -0,00444224 |
| 4 | 0,43984512 | 0,123500665 | -0,00286979 |
| 5 | 0,46626218 | 0,123316827 | -0,0041732 |
| 6 | 0,50119092 | 0,123057918 | 0,003165882 |
| 7 | 0,42052333 | 0,123628555 | -0,00136798 |
| 8 | 0,44941662 | 0,123435253 | 0,002811364 |
| 9 | 0,43777375 | 0,123514642 | 0,003542092 |
| 10 | 0,55574984 | 0,122617764 | -0,00540458 |
| Выход | 1 | 0,24813971 | 0,12452019 | 0,046105311 |

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 | -0,86 | 1 | -0,859983685 | 1,000057102 |
| 2 | -0,892 | -0,891985045 |
| 3 | 0,374 | 0,374002719 |
| 2 | 1 | -0,572 | 1 | -0,572105538 | 0,999630619 |
| 2 | 0,276 | 0,275903258 |
| 3 | -0,22 | -0,22001759 |
| 3 | 1 | 0,056 | 1 | 0,056317305 | 1,001110561 |
| 2 | 0,308 | 0,30829086 |
| 3 | -0,184 | -0,183947115 |
| 4 | 1 | -0,604 | 1 | -0,603795013 | 1,000717449 |
| 2 | -0,322 | -0,321812097 |
| 3 | 0,342 | 0,342034165 |
| 5 | 1 | 0,106 | 1 | 0,106298088 | 1,0010433 |
| 2 | -0,704 | -0,703726755 |
| 3 | 0,402 | 0,402049682 |
| 6 | 1 | 0,594 | 1 | 0,593773864 | 0,99920853 |
| 2 | -0,676 | -0,676207289 |
| 3 | 0,254 | 0,25396231 |
| 7 | 1 | -0,998 | 1 | -0,997902286 | 1,000341996 |
| 2 | -0,076 | -0,07591043 |
| 3 | -0,27 | -0,269983714 |
| 8 | 1 | -0,212 | 1 | -0,212200813 | 0,999297159 |
| 2 | -0,502 | -0,502184077 |
| 3 | -0,216 | -0,216033469 |
| 9 | 1 | -0,304 | 1 | -0,304253008 | 0,999114477 |
| 2 | -0,586 | -0,586231922 |
| 3 | -0,18 | -0,180042169 |
| 10 | 1 | 0,084 | 1 | 0,084386044 | 1,001351146 |
| 2 | 0,794 | 0,794353871 |
| 3 | -0,188 | -0,187935658 |
| Выход | 1 | 1 | -0,04 | 1 | -0,065262471 | 0,976947345 |
| 2 | 0,26 | 0,234224939 |
| 3 | -0,784 | -0,810043929 |
| 4 | -0,504 | -0,529577387 |
| 5 | -0,734 | -0,759727696 |
| 6 | 0,558 | 0,532073921 |
| 7 | -0,24 | -0,265467311 |
| 8 | 0,494 | 0,468368127 |
| 9 | 0,622 | 0,596434408 |
| 10 | -0,956 | -0,982235082 |

**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: 500; Нормализация: [0;1]; Выбор примеров: последовательный; Крутизна функции: 0,5; Смещение: 0,5; Скорость обучения: 0,5; 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.