

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

ОТЧЕТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Системы искусственного интеллекта и принятия решений»
ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4-5

Выполнил студент группы ПМ-41 _____ Кислицын И.К.

Проверил доцент, к.т.н. кафедры ЭВМ _____ Ростовцев В.С.

Целью выполнения лабораторной работы является изучение алгоритма обратного распространения ошибки в процессе обучения нейронной сети.

Вариант 5, функция $Y = X1 * X2 + X3^2$. Интервалы переменных $[0; 5]$.

1. Влияние нормализации

Рассмотрим следующую нейронную сеть:

Номер слоя	Число нейронов	Активационная функция	Крутизна функции	Смещение	Вес
1й слой	5	сигмоид	0,5	1	1
2й слой	2	сигмоид	0,5	1	1

Скорость обучения 0.2, циклов обучения 5000.

Результаты с разными видами нормализации:

Нормализация	Средняя ошибка
Без нормализации	34,99
С нормализацией $[0;1]$	2,23
С нормализацией $[-0,5;0,5]$	12,23
С нормализацией $[-1;1]$	12,24

Видно, что нормализация $[0; 1]$ даёт наименьшую среднюю ошибку. Далее используется только такая.

2. Влияние метода выбора данных для обучения

Метод	Средняя ошибка
Случайный	2,23
Последовательный	2,72

Видно, что при случайном выборе средняя ошибка ниже. Далее используется только такой метод.

3. Оценка влияния структуры нейросети на среднюю ошибку

3.1. Нейросеть 1

Структура сети: 3 - 5 - 2 - 1

Число входов: 3

Число выходов: 1

Слой	Сигмоида	Крутизна	Смещение	Момент	Вес
--1	сигмоид	0,5	1,0	0	1,0
--2	сигмоид	0,5	1,0	0	1,0
--выход	сигмоид	0,5	1,0	0	1,0

Скорость обучения: 0,2

Нормализация: $[0;1]$

Циклов обучения: 5000

Максимальная ошибка: 14.91185800

Минимальная ошибка: 0.00051500

Средняя ошибка: 2.72205836

Среднеквадратичная ошибка: 9194.33091658

3.2 Нейросеть 2

Структура сети: 3 - 10 - 1

Число входов: 3

Число выходов: 1

Слой-----Сигмоида-----Крутизна---Смещение---Момент---Вес
 --1-----гиперб. тангенс-----0,6-----0,3-----0-----1,2
 --выход---сигмоид-----0,5-----1,0-----0-----1,0
 Скорость обучения: 0,2
 Нормализация: [0;1]
 Циклов обучения: 5000
 Максимальная ошибка: 12.42181200
 Минимальная ошибка: 0.00276600
 Средняя ошибка: 2.18356589
 Среднеквадратичная ошибка: 5525.12743473

3.3 Нейросеть 3

Структура сети: 3 - 10 - 2 - 7 - 1
 Число входов: 3
 Число выходов: 1
 Слой-----Сигмоида-----Крутизна---Смещение---Момент---Вес
 --1-----рац. сигмоид-----***-----1,0-----0-----1,0
 --2-----рац. сигмоид-----***-----1,0-----0-----1,2
 --3-----рац. сигмоид-----***-----1,0-----0-----1,0
 --выход---сигмоид-----0,5-----1,0-----0-----1,0
 Скорость обучения: 0,2
 Нормализация: [0;1]
 Циклов обучения: 5000
 Максимальная ошибка: 6.01724200
 Минимальная ошибка: 0.00235000
 Средняя ошибка: 1.27196359
 Среднеквадратичная ошибка: 1664.15988027

3.4 Нейросеть 4

Структура сети: 3 - 4 - 1
 Число входов: 3
 Число выходов: 1
 Слой-----Сигмоида-----Крутизна---Смещение---Момент---Вес
 --1-----сигмоид-----0,2-----0,1-----0-----2
 --выход---сигмоид-----1,0-----2-----0-----3
 Скорость обучения: 0,2
 Нормализация: [0;1]
 Циклов обучения: 5000
 Максимальная ошибка: 14.43097500
 Минимальная ошибка: 0.00068600
 Средняя ошибка: 2.52156086
 Среднеквадратичная ошибка: 7950.58497531

3.5 Нейросеть 5

Структура сети: 3 - 7 - 5 - 1
 Число входов: 3
 Число выходов: 1
 Слой-----Сигмоида-----Крутизна---Смещение---Момент---Вес
 --1-----рац. сигмоид-----***-----1,0-----0-----1,0
 --2-----сигмоид-----0,5-----1,0-----0-----1,0
 --выход---сигмоид-----0,5-----1,0-----0-----1,0
 Скорость обучения: 0,32
 Нормализация: [0;1]
 Циклов обучения: 5000
 Максимальная ошибка: 6.55621500
 Минимальная ошибка: 0.00184800

Средняя ошибка: 1.34539893
Среднеквадратичная ошибка: 1868.01426631

3.6 Нейросеть 6

Структура сети: 3 - 6 - 4 - 1

Число входов: 3

Число выходов: 1

Слой-----Сигмоида-----Крутизна---Смещение---Момент---Вес

--1-----рац. сигмоид-----***-----1,0-----0-----1,0

--2-----рац. сигмоид-----***-----2-----0-----1,0

--выход---сигмоид-----0,5-----1,0-----0-----1,0

Скорость обучения: 0,32

Нормализация: [0;1]

Циклов обучения: 5000

Максимальная ошибка: 5.64148700

Минимальная ошибка: 0.00033300

Средняя ошибка: 1.22548452

Среднеквадратичная ошибка: 1550.99707022

Наилучшей оказалась нейросеть 6, показавшая наименьшую среднюю ошибку.

Наилучшей активационной функцией оказался рациональный сигмоид.

Сети с большим количеством слоёв (4 и больше) в среднем отработали хуже, чем грамотно подобранные сети меньших размерностей.

Далее рассматривается сеть с конфигурацией как у нейросети 6.

4. Влияние параметров крутизны.

Параметр крутизны выходного слоя	Средняя ошибка
0,1	1,26
0,5	1,21
0,9	1,36

Слишком большой и слишком маленький параметр крутизны, как видно, плохо влияет на качество обучения, при бём большой влияет хуже.

5. Влияние скорости обучения

Скорость обучения	Средняя ошибка
0,1	1,50
0,3	1,21
0,5	1,78

6. Влияние момента

Момент	Средняя ошибка
0	1,21
0,2	2,98
0,4	34,52
0,1	1,34

Видно, что большой момент негативно влияет на качество обучения.

7. Результат расчётов при выполнении одного прохода вперёд и назад в пошаговом режиме

Начальные значения весов синапсов

Нейрон[1][1]

$w[1, 1, 1] = -0,582$

$w[1, 1, 2] = 0,036$

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

Вес смещения:

$w[1, 1, 4] = 1$

Нейрон[1][2]

$w[1, 2, 1] = -0,44$

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

$w[1, 2, 3] = -0,476$

Вес смещения:

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

Нейрон[1][3]

$w[1, 3, 1] = -0,736$

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

$w[1, 3, 3] = -0,208$

Вес смещения:

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

Нейрон[1][4]

$w[1, 4, 1] = -0,878$

$w[1, 4, 2] = -0,13$

$w[1, 4, 3] = 0,382$

Вес смещения:

$w[1, 4, 4] = 1$

Нейрон[1][5]

$w[1, 5, 1] = 0,856$

$w[1, 5, 2] = 0,876$

$w[1, 5, 3] = -0,556$

Вес смещения:

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

Нейрон[1][6]

$w[1, 6, 1] = -0,172$

$w[1, 6, 2] = -0,292$

$w[1, 6, 3] = -0,882$

Вес смещения:

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

Нейрон[2][1]

$w[2, 1, 1] = -0,176$

$w[2, 1, 2] = 0,164$

$w[2, 1, 3] = -0,672$

$w[2, 1, 4] = -0,918$

$w[2, 1, 5] = 0,15$

$w[2, 1, 6] = -0,462$

Вес смещения:

$w[2, 1, 7] = 1$

Нейрон[2][2]
 $w[2, 2, 1] = 0,272$
 $w[2, 2, 2] = -0,996$
 $w[2, 2, 3] = 0,578$
 $w[2, 2, 4] = 0,138$
 $w[2, 2, 5] = -0,912$
 $w[2, 2, 6] = -0,686$
Вес смещения:
 $w[2, 2, 7] = 1$

Нейрон[2][3]
 $w[2, 3, 1] = 0,222$
 $w[2, 3, 2] = 0,32$
 $w[2, 3, 3] = -0,26$
 $w[2, 3, 4] = 0,092$
 $w[2, 3, 5] = 0,154$
 $w[2, 3, 6] = 0,362$
Вес смещения:
 $w[2, 3, 7] = 1$

Нейрон[2][4]
 $w[2, 4, 1] = 0,1$
 $w[2, 4, 2] = -0,148$
 $w[2, 4, 3] = -0,56$
 $w[2, 4, 4] = 0,86$
 $w[2, 4, 5] = -0,228$
 $w[2, 4, 6] = 0,442$
Вес смещения:
 $w[2, 4, 7] = 1$

Нейрон[3][1]
 $w[3, 1, 1] = -0,82$
 $w[3, 1, 2] = 0,24$
 $w[3, 1, 3] = -0,87$
 $w[3, 1, 4] = -0,356$
Вес смещения:
 $w[3, 1, 5] = 1$

Выбран обучающий пример

$x_1 = 0,09$
 $x_2 = 0$
 $x_3 = 0,05$
 $y = 0,125$

Прямая волна

Нейрон[1][1]
Взвешенная сумма = 0,96262
Аксон = 0,723646066

Нейрон[1][2]
Взвешенная сумма = 0,9366
Аксон = 0,7184123619

Нейрон[1][3]

Взвешенная сумма = 0,92336
Аксон = 0,7157262339

Нейрон[1][4]
Взвешенная сумма = 0,94008
Аксон = 0,7191158168

Нейрон[1][5]
Взвешенная сумма = 1,04924
Аксон = 0,7406289316

Нейрон[1][6]
Взвешенная сумма = 0,94042
Аксон = 0,7191844877

Нейрон[2][1]
Взвешенная сумма = 0,6281726772
Аксон = 0,6520750069

Нейрон[2][2]
Взвешенная сумма = 0,8254066192
Аксон = 0,6953828085

Нейрон[2][3]
Взвешенная сумма = 2,645012857
Аксон = 0,9337029445

Нейрон[2][4]
Взвешенная сумма = 2,332688636
Аксон = 0,9115483559

Нейрон[3][1]
Взвешенная сумма = -0,5046424081
Аксон = 0,4372522544

Обратная волна

Подсчет локальной ошибки нейронов на выходе нейронной сети...

Желаемый сигнал на выходе:

0,125

Прогнозируемый сигнал на выходе нейронной сети:

0,4372522544

Нейрон[3][1]
Локальная ошибка = 0,03841681959

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

Нейрон[2][1]
Локальная ошибка = -0,007146912127

Нейрон[2][2]
Локальная ошибка = 0,00195303942

Нейрон[2][3]
Локальная ошибка = -0,002068919673

Нейрон[2][4]

Локальная ошибка = -0,00110269912

Нейрон[1][1]

Локальная ошибка = 0,0002438812173

Нейрон[1][2]

Локальная ошибка = -0,0007315380199

Нейрон[1][3]

Локальная ошибка = 0,001441939069

Нейрон[1][4]

Локальная ошибка = 0,001149661202

Нейрон[1][5]

Локальная ошибка = -0,0005610035183

Нейрон[1][6]

Локальная ошибка = 0,0001465704135

Коррекция весов синапсов

$w[1, 1, 1] = -0,5820065848$

$w[1, 1, 2] = 0,036$

$w[1, 1, 3] = 0,2999963418$

Вес смещения:

$w[1, 1, 4] = 0,9999268356$

$w[1, 2, 1] = -0,4399802485$

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

$w[1, 2, 3] = -0,4759890269$

Вес смещения:

$w[1, 2, 4] = 1,000219461$

$w[1, 3, 1] = -0,7360389324$

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

$w[1, 3, 3] = -0,2080216291$

Вес смещения:

$w[1, 3, 4] = 0,9995674183$

$w[1, 4, 1] = -0,8780310409$

$w[1, 4, 2] = -0,13$

$w[1, 4, 3] = 0,3819827551$

Вес смещения:

$w[1, 4, 4] = 0,9996551016$

$w[1, 5, 1] = 0,8560151471$

$w[1, 5, 2] = 0,876$

$w[1, 5, 3] = -0,5559915849$

Вес смещения:

$w[1, 5, 4] = 1,000168301$

$w[1, 6, 1] = -0,1720039574$

$w[1, 6, 2] = -0,292$

$w[1, 6, 3] = -0,8820021986$

Вес смещения:

$w[1, 6, 4] = 0,9999560289$

$w[2, 1, 1] = -0,1744484495$

$w[2, 1, 2] = 0,165540329$

$w[2, 1, 3] = -0,6704654302$

$w[2, 1, 4] = -0,9164581627$

$w[2, 1, 5] = 0,151587963$

$w[2, 1, 6] = -0,4604580155$

Вес смещения:

$w[2, 1, 7] = 1,004288147$

$w[2, 2, 1] = 0,2715760072$

$w[2, 2, 2] = -0,9964209263$

$w[2, 2, 3] = 0,5775806475$

$w[2, 2, 4] = 0,1375786615$

$w[2, 2, 5] = -0,9124339432$

$w[2, 2, 6] = -0,6864213787$

Вес смещения:

$w[2, 2, 7] = 0,9988281763$

$w[2, 3, 1] = 0,2224491497$

$w[2, 3, 2] = 0,3204459012$

$w[2, 3, 3] = -0,259555766$

$w[2, 3, 4] = 0,09244633786$

$w[2, 3, 5] = 0,1544596905$

$w[2, 3, 6] = 0,3624463805$

Вес смещения:

$w[2, 3, 7] = 1,001241352$

$w[2, 4, 1] = 0,1002393892$

$w[2, 4, 2] = -0,1477623422$

$w[2, 4, 3] = -0,5597632308$

$w[2, 4, 4] = 0,8602378905$

$w[2, 4, 5] = -0,2277549927$

$w[2, 4, 6] = 0,4422379132$

Вес смещения:

$w[2, 4, 7] = 1,000661619$

$w[3, 1, 1] = -0,8275151944$

$w[3, 1, 2] = 0,2319856812$

$w[3, 1, 3] = -0,8807609693$

$w[3, 1, 4] = -0,3665056366$

Вес смещения:

$w[3, 1, 5] = 0,9884749541$

Расчёт вручную

С помощью метаматического пакета Scilab.

Код:

$x = [0.09 \ 0 \ 0.05];$

$y = 0.125;$

```
function [res]=f(x)
    n = size(x);
```

```

n = n(2);
res = [];
for i = 1:n
    res(i) = 1/(1 + exp(-x(i)));
end
res = res';
endfunction

function [res]=f_out(x)
n = size(x);
n = n(2);
res = [];
for i = 1:n
    res(i) = 1/(1 + exp(-x(i)*0.5));
end
res = res';
endfunction

```

```

w1 = [
-0.582 0.036 0.3
-0.44 -0.956 -0.476
-0.736 0.2 -0.208
-0.878 -0.13 0.382
0.856 0.876 -0.556
-0.172 -0.292 -0.882
]';

```

```

w2 = [
-0.176 0.164 -0.672 -0.918 0.15 -0.462
0.272 -0.996 0.578 0.138 -0.912 -0.686
0.222 0.32 -0.26 0.092 0.154 0.362
0.1 -0.148 -0.56 0.86 -0.228 0.442
]';

```

```

w3 = [-0.82 0.24 -0.87 -0.356]';

```

```

//проход вперёд
s1 = x * w1 + 1;
y1 = f(s1); //первый слой
s2 = y1 * w2 + 2;
y2 = f(s2); //второй слой
s3 = y2 * w3 + 1;
res_y = f_out(s3); // результат

```

```

function [res]=f_diff(x)
n = size(x);
n = n(2);
res = [];
for i = 1:n
    res(i) = exp(x(i))/(1 + exp(-x(i)))^2;
end
res = res';
endfunction

```

```

dy = y - res_y; //ошибка выходного слоя
ds2 = dy * w3 .* f_diff(s3)'; //ошибка 2 слоя
ds1 = (ds2' .* f_diff(s2)) * w2'; //ошибка 1 слоя

```

```

y1 = 0.7236461 0.7184124 0.7157262 0.7191158 0.7406289 0.7191845
y2 = 0.6520750 0.6953828 0.9337029 0.9115484
res_y = 0.4372523
dy = 0.03841
ds2 = -0.0071445 0.0019523 -0.0020689 -0.0011026
ds3 = 0.0002438 -0.0007315 0.0014419 0.0011496 -0.0005610 0.0001465

```

Результаты совпали (с точностью до округления) с расчётами программы BackPropagate.

$f(x)$ – активационная функция, рациональный сигмоид

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

$f_diff(x)$ — её производная

$$f_diff(x) = f'(x) = \frac{e^x}{(1 + e^{-x})^2}$$

Локальная ошибка вычисляется по формуле

$$\gamma_j = y_j - t_j$$

для выходного слоя, для остальных по формуле

$$\gamma_j = \sum_{i=1}^m \gamma_i f_diff(s_j) w_{ij}$$

Коррекция весов вычисляется по формуле

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) - \alpha \gamma_j f_diff(s_j) y_j$$

Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы были получены знания по выбору конфигурации и настройке нейросетей, подбору оптимальных параметров, был усвоен алгоритм обратного распространения ошибки.

В результате была выбрана оптимальная для решения заданной задачи нейронная сеть следующей конфигурации:

Структура сети: 3 - 6 - 4 - 1

Число входов: 3

Число выходов: 1

Слой-----Сигмоида-----Крутизна---Смещение---Момент---Вес

--1-----рац. сигмоид-----***-----1,0-----0-----1,0

--2-----рац. сигмоид-----***-----2-----0-----1,0

--выход---сигмоид-----0,5-----1,0-----0-----1,0

Скорость обучения: 0,3

Нормализация: [0;1]

Момент: 0

Выбор элементов: случайный

Были получены навыки по работе с нейронными сетями в программе BackPropagate.