

## Цель:

Ознакомиться, проанализировать и получить навыки реализации модели нейронной сети для задачи предсказания числовых последовательностей.

## Вариант:

Реализовать модель сети Элмана с линейной функцией активации.

Выводятся результаты следующих вычислений:

- исходные данные;
- матрица весов после обучения на первом слое;
- матрица весов после обучения на втором слое;
- количество шагов обучения;
- ошибка обучения;
- ответы для всех заданных последовательностей.

## Результаты работы программы:

- **Последовательность (1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1)**
  - Количество нейронов скрытого слоя - 2
  - Размер окна - 6
  - Шаг обучения - 0,005
  - Максимально допустимая ошибка — 0.00000000000001
  - Максимальное количество итераций - 1000000

### Матрица весов после обучения на первом слое:

|             |             |
|-------------|-------------|
| 0.05511379  | 0.11942328  |
| 0.11952027  | 0.00365432  |
| -0.9419923  | -0.25848764 |
| -0.04917994 | 0.00606175  |
| -0.08246588 | 0.00804467  |
| -0.07114264 | -0.03400845 |
| 0.09469763  | 0.08500669  |
| 0.01438681  | -0.00297411 |

### Матрица весов после обучения на втором слое

|             |             |
|-------------|-------------|
| -0.94995649 | -0.25910489 |
|-------------|-------------|

### Количество шагов обучения:

1401

### Ошибка обучения:

9.99258323e-09

- **Результат:**

0.8972825629817495, 1.0231692953960703, -0.0039482573593113204,  
1.0064068858050388, 0.7960063288064166, 1.04891184289545,  
-0.016516149835374836, 1.0196337195409968, 0.6953210072513502,  
1.0780629833866395, -0.03780412932775469, 1.0399307308000083,  
0.594197699583665, 1.1114789924313286, -0.0680182327844241

- **Последовательность (1, 0, -1, 0, 1, 0, -1)**

- Количество нейронов скрытого слоя - 2
- Размер окна - 3
- Шаг обучения - 0,005
- Максимально допустимая ошибка — 0.00000001
- Максимальное количество итераций - 10000

**Матрица весов после обучения на первом слое:**

|             |             |
|-------------|-------------|
| 0.03875144  | -0.01465376 |
| 0.77561049  | 0.63159122  |
| 0.03696544  | -0.01244853 |
| -0.02813558 | 0.01734949  |
| 0.05543876  | 0.0482736   |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|             |             |
|-------------|-------------|
| -0.77488356 | -0.63161585 |
|-------------|-------------|

**Количество шагов обучения:**

864

**Ошибка обучения:**

9.72463515e-09

**Результат:**

-7.272735797880098e-06, 0.9999299662921295, 1.7049486000758618e-05,  
-0.9998600270021555, -2.682166307603484e-05, 0.9997900923938329,  
3.659247715405087e-05, -0.9997201625816656, -4.636192426980129e-05,  
0.9996502375651848

- **Последовательность (1, 2, 3, 5, 8, 13, 21)**

- Количество нейронов скрытого слоя - 2
- Размер окна - 3
- Шаг обучения - 0,005
- Максимально допустимая ошибка — 0.00000001
- Максимальное количество итераций - 10000

**Матрица весов после обучения на первом слое:**

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| $1.42605409e-02$  | $-1.52383563e-04$ |
| $-7.11730077e-01$ | $-4.27961024e-01$ |
| $-7.13612044e-01$ | $-4.70405608e-01$ |
| $-1.69860004e-02$ | $9.18378260e-02$  |
| $-1.60507038e-02$ | $4.76506689e-02$  |

#### Матрица весов после обучения на втором слое

|               |               |
|---------------|---------------|
| $-1.00450536$ | $-0.63243752$ |
|---------------|---------------|

#### Количество шагов обучения:

10000

#### Ошибка обучения:

$1.8488546e-08$

#### Результат:

33.9998722894824, 54.999678072662874, 88.99923177058703,  
143.99839686921467, 232.99679708576548

#### • Последовательность (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64)

- Количество нейронов скрытого слоя - 2
- Размер окна - 3
- Шаг обучения - 0.0005
- Максимально допустимая ошибка — 0.00000001
- Максимальное количество итераций - 10000

#### Матрица весов после обучения на первом слое:

|               |               |
|---------------|---------------|
| $0.05959022$  | $0.09960467$  |
| $0.18966268$  | $0.32205282$  |
| $0.23321492$  | $0.44374031$  |
| $0.56986977$  | $1.01005997$  |
| $-0.03829541$ | $-0.06446936$ |
| $-0.04464751$ | $-0.03301758$ |

#### Матрица весов после обучения на втором слое

|              |              |
|--------------|--------------|
| $0.64315928$ | $1.14967784$ |
|--------------|--------------|

#### Количество шагов обучения:

19

#### Ошибка обучения:

$5.13262923e-09$

**Результат:**

128.00012506917534

- **Последовательность (1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64)**

- Количество нейронов скрытого слоя - 2
- Размер окна - 5
- Шаг обучения - 0.00005
- Максимально допустимая ошибка — 0.00000001
- Максимальное количество итераций - 1000000

**Матрица весов после обучения на первом слое:**

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| 1.40599268e-01  | -3.89867112e-01 |
| 4.28991661e-02  | 4.11746627e-01  |
| -1.23616792e-01 | 5.40678718e-01  |
| -7.14903336e-02 | 6.61256586e-04  |
| 1.79289982e-01  | -1.23608270e+00 |
| -7.78353952e-02 | -3.61786504e-02 |
| 4.29814861e-02  | 9.19562835e-02  |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|            |            |
|------------|------------|
| 0.21616352 | -1.4313083 |
|------------|------------|

**Количество шагов обучения:**

1000000

**Ошибка обучения:**

3.42124117e-07

**Результат:**

80.99798460707848, 99.99092362990692, 120.97341604139166,  
143.93728568281858, 168.87144125877714

- **Последовательность (1, 2, 5, 15, 52, 203, 877, 4140, 21147)**

- Количество нейронов скрытого слоя - 2
- Размер окна - 5
- Шаг обучения - 0.000000005
- Максимально допустимая ошибка — 0.00000001
- Максимальное количество итераций - 1000000

**Матрица весов после обучения на первом слое:**

|             |             |
|-------------|-------------|
| 0.24496198  | 0.08678133  |
| 0.40196656  | 0.42938165  |
| 1.26833405  | 1.18310479  |
| 2.56286375  | 2.20334719  |
| -1.52033787 | -1.30250875 |
| 0.0957271   | 0.08963421  |
| -0.02802113 | 0.07818325  |

#### **Матрица весов после обучения на втором слое**

|             |             |
|-------------|-------------|
| -3.22783092 | -2.81487567 |
|-------------|-------------|

**Количество шагов обучения:**

1000000

**Ошибка обучения:**

681.05190354

**Результат (ожидаемые значения: 115975, 678570, 4213597, 27644437, 190899322):**

114308.75841009746, 640795.5586876804, 3671019.8272315254, 21292282.177445237, 124346675.00072832

- Последовательность (1, 2, 6, 24, 120, 720, 5040, 40320)**

- Количество нейронов скрытого слоя - 2
- Размер окна - 3
- Шаг обучения - 0.0000000005
- Максимально допустимая ошибка — 0.00000001
- Максимальное количество итераций - 1000000

**Матрица весов после обучения на первом слое:**

|             |             |
|-------------|-------------|
| 1.83753192  | 1.32840125  |
| 4.55991625  | 3.09553768  |
| -1.79572684 | -1.11005565 |
| 0.06055368  | -0.09473561 |
| -0.0204805  | -0.07570772 |

#### **Матрица весов после обучения на втором слое**

|             |             |
|-------------|-------------|
| -5.22356005 | -3.53805571 |
|-------------|-------------|

**Количество шагов обучения:**

1000000

**Ошибка обучения:**

4761.59103764

**Результат(ожидаемые значения: 362880, 3628800, 39916800, 479001600, 6227010800):**

351040.53175544075, 3197736.3260626323, 29774468.796933502,  
280047064.6207262, 2646016822.3911867

**Вывод:**

В ходе лабораторной работы была реализована модель сети Элмана с линейной функцией активации. Практически были предсказаны неизвестные элементы таких числовых последовательностей, как «числа Фибоначчи», «числа Белла» и т.д.. Рекуррентные нейронные сети имеют синаптические соединения между выходами нейронных элементов последующих слоев с нейронами предшествующих слоёв. Такие сети применяются для обработки динамических данных и временных образов, прогнозирования и идентификации систем, распознавания речи, видео, обработки естественного языка.