Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

Кафедра интеллектуальных информационных технологий

**Отчет по лабораторной работе №2**

**по курсу «МРЗвИС»**

**на тему**

**«П*редсказание числовых последовательностей нейросетевыми методами*»**

Выполнил студент группы 621701: Козел С.М.

Проверил: Ивашенко В.П.

**Минск**

**2018**

**Цель:**

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

**Вариант:**

Реализовать модель сети Джордана 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 *–* 0.00000005
  + Максимально допустимая ошибка – 0.00005
  + Максимальное количество итераций - 10000000

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

|  |  |
| --- | --- |
| *-0.135694100462770* | *-0.9313943018525122* |
| *-0.11768016663822897* | *-0.31758317259666136* |
| *1.193340305454282* | *1.0576990430252764* |
| *-0.3102960907911929* | *-0.46052512638845566* |
| *-0.5430802141352634* | *-0.04588609002500163* |
| *0.9325201844749553* | *0.21548249214027115* |
| *0.3499329699354646* | *0.08770575581496941* |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *0.6465671534232657* | *-0.03484979515999739* |

**Количество шагов обучения:**

10000000

**Ошибка обучения:**

*0.589*

**Результат:**

*1.1229262716657178,*

*1.1841351563304525,*

*0.27198274973568287,*

*0.28092114469561413,*

*0.6763447884129681*

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

|  |  |
| --- | --- |
| -0.0032304418348717426 | -0.5081601441660466 |
| -0.3275814806920271 | 0.38078726235042787 |
| 0.4826509853726147 | -0.6979181448948317 |
| -0.8246680030405232 | 0.9255223455446547 |
| -0.3503005378531114 | -0.023544926979971938 |
| 0.07783157583554487 | -0.31203205393892713 |
| -0.9199893958353127 | 0.5073702200768566 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *-0.5212516548524665* | *-0.07981853558328568* |

**Количество шагов обучения:**

10000000

**Ошибка обучения:**

*0.5822430343386721*

**Результат:**

*0.8127647634923516,*

*0.6759824389035148,*

*0.4415712415844908,*

*0.8482148363091573,*

*0.6194811223945603*

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

|  |  |
| --- | --- |
| -0.3981665054149491 | -0.9514484772550107 |
| -0.6291167028150036 | 0.17649904331905497 |
| -0.2071489505594732 | -0.13839904889791227 |
| -0.3026134302346009 | -0.4985599328604015 |
| 0.16465719308319998 | -0.08949252912867836 |
| 0.13089626377359828 | -0.39335756208372763 |
| -0.6474967906171889 | 0.8343740851444992 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *-0.5106320098463951* | *-0.10980599679057011* |

**Количество шагов обучения:**

10000000

**Ошибка обучения:**

*0.9160405013676831*

**Результат:**

*0.6975961615759193,*

*0.9899113795073328,*

*0.8733801838636027,*

*0.9134973271598454,*

*0.6723077615760854*

* **Последовательность (1, 0, -1, 0, 1, 0, -1)**
  + Количество нейронов скрытого слоя - 2
  + Размер окна - 4
  + Шаг обучения *-* 0,0005
  + Максимально допустимая ошибка —0.000005
  + Максимальное количество итераций - 10000000

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

| *0.5439507971048448* | *-2.9956259789992865* |
| --- | --- |
| *0.16023975238299204* | *3.9438181948149897* |
| *0.0930482233850707* | *2.417049561043382* |
| *0.16866569116245977* | *0.15418017576668253* |
| *-0.2227955018645561* | *-3.357066472020351* |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *1.6188044942508109* | *-0.049216076461427755* |

**Количество шагов обучения:**

*44548*

**Ошибка обучения:**

*4.997149578976029E-5*

**Результат:**

*-0.005223342728257474,*

*0.9959480907074241,*

*0.004261257788083006*

*-0.9964848365445875,*

*-0.009963389815817514,*

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

| 0.8686944036295622 | 1.5057568697264223 |
| --- | --- |
| -0.11878165155978623 | 0.6210653694053644 |
| 0.14549264224570507 | -1.8102196223989533 |
| 0.6678655710190725 | 0.09495998782803985 |
| 0.06078283395400019 | -0.3029243956981038 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *-1.0822190845308408* | *0.28160817895290513* |

**Количество шагов обучения:**

*8076*

**Ошибка обучения:**

*4.998241839356931E-7*

**Результат:**

*-2.386406612515657E-4,*

*0.9996394295307772,*

*4.636872458747554E-4,*

*-0.9993793765598221,*

*-6.256590327911038E-4*

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

| -0.9620022233960448 | 0.5756125971114553 |
| --- | --- |
| -0.10035155701404005 | 0.26362385405485905 |
| 1.0302265013335605 | -1.756438969047202 |
| -0.3586355322518235 | -1.389344592229204 |
| 0.8610372809921585 | 0.09988236443556042 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *0.9729801774852717* | *0.452660987689405* |

**Количество шагов обучения:**

*16530*

**Ошибка обучения:**

*4.996013241782133E-7*

**Результат:**

*-2.8590996763999676E-4,*

*0.9994801817354771,*

*3.864600126384232E-4,*

*-0.9990102857770738,*

*-5.012335173903981E-4*

* **Последовательность (1, 2, 3, 5, 8, 13, 21)**
  + Количество нейронов скрытого слоя - 2
  + Размер окна - 4
  + Шаг обучения *-* 0,0005
  + Максимально допустимая ошибка —0.0000005
  + Максимальное количество итераций - 10000000

**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**

|  |  |
| --- | --- |
| *-1.241621290866678* | *1.2315090259602106* |

**Количество шагов обучения:**

*426393*

**Ошибка обучения:**

*4.999967875796815E-7*

**Результат:**

*34.00051898335751,*

*55.0004569483519,*

*89.00136796712124,*

*144.00279588602234,*

*233.00508469760788*

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

| 0.6178868355499161 | -0.24162652146112615 |
| --- | --- |
| -3.282003047799626 | 1.1571714477216992 |
| -2.584155851982028 | 0.461786062026639 |
| -4.645385211818134 | 1.098448532152567 |
| 0.5298657698413964 | -0.20340488972300852 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *-0.9311101851966685* | *-2.3806242248969607* |

**Количество шагов обучения:**

*365716*

**Ошибка обучения:**

*4.999785765614872E-7*

**Результат:**

*34.00091503595629,*

*55.00119643250388,*

*89.00367395149782,*

*144.00653301685242,*

*233.01350730689867*

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

| 1.3206688040544667 | -0.6070895535881315 |
| --- | --- |
| 0.473615910385257 | -0.15283952755415614 |
| 3.5406248585439677 | -0.9313111926617784 |
| 4.417407280094367 | -1.0880561132036985 |
| -0.5701797477833472 | 0.007467290418850636 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *1.220951463406718* | *2.6560521795783663* |

**Количество шагов обучения:**

*111199*

**Ошибка обучения:**

*4.999409943960619E-7*

**Результат:**

*33.99903670149516,*

*54.999148514605196,*

*88.99569797722688,*

*143.99502713215895,*

*232.9844169116417*

* **Последовательность (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64)**
  + Количество нейронов скрытого слоя - 2
  + Размер окна - 4
  + Шаг обучения *-* 0.0005
  + Максимально допустимая ошибка —0.0000005
  + Максимальное количество итераций - 10000000

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

| *-0.3644529625884761* | *0.35000464581770724* |
| --- | --- |
| *0.14785215493743645* | *0.6815736864912362* |
| *-1.586439499014644* | *0.3352803615898451* |
| *-3.1002550787707155* | *-0.41709541884167733* |
| *-0.21437022558278418* | *0.5947181091094451* |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *-1.2783268216531811* | *-1.331040128152871* |

**Количество шагов обучения:**

*4222530*

**Ошибка обучения:**

*4.999999009998125E-7*

**Результат:**

*128.00126491343838,*

*256.00187516022686,*

*512.0098044067624,*

*1024.0155183372963,*

*2048.0580857908844*

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

| 0.9536361346675398 | -0.6144587801913157 |
| --- | --- |
| -0.5030936171148005 | 1.1599382783385273 |
| -0.2540579228369931 | 1.0271990471788093 |
| 1.059245218598362 | 1.663495681897408 |
| 0.4504402252304114 | -0.256016518491782 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *0.843626120219662* | *1.309168140080606* |

**Количество шагов обучения:**

*310*

**Ошибка обучения:**

*4.948258050308584E-7*

**Результат:**

*127.99975756415178,*

*255.99950425882076,*

*511.9982634113514,*

*1023.99618590951,*

*2047.9897904409029*

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

| -0.16540868645487888 | -0.2105953513974416 |
| --- | --- |
| -0.085203260071611 | -0.7827785340987768 |
| -0.020365974197185804 | -0.7395354633150205 |
| 2.112344671622415 | -2.9472883645596553 |
| -0.5180210385049757 | 0.40245612363942707 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| 1.260788011244766 | -0.9906545654767477 |

**Количество шагов обучения:**

*6075*

**Ошибка обучения:**

*0.990044493710366E-7*

**Результат:**

*127.99972727560018,*

*255.99974140537262,*

*511.99765850787804,*

*1023.9986443803913,*

*2047.9836248626307*

* **Последовательность (1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64)**
  + Количество нейронов скрытого слоя - 2
  + Размер окна - 4
  + Шаг обучения *-* 0.00000005
  + Максимально допустимая ошибка —0.0000005
  + Максимальное количество итераций - 10000000

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

| *-1.4222126403886677* | *0.08749791299246308* |
| --- | --- |
| *0.6456416025961838* | *-0.28689750706630035* |
| *2.362258778592898* | *-0.8189912208566292* |
| *4.60853543026165* | *0.2396768774070981* |
| *-0.5859664275858076* | *0.769997443157697* |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *0.1412094862641201* | *0.44512148489312* |

**Количество шагов обучения:**

*10000000*

**Ошибка обучения:**

*0.03605242947969787*

**Результат:**

*80.29432935820643,*

*97.33719670461727,*

*113.66575104721142,*

*127.69327736804729,*

*136.8196205905442,*

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

| -1.4460581071480225 | 0.663824778769803 |
| --- | --- |
| 0.10679558509756787 | -0.9509232054737139 |
| 2.757188483362382 | -1.947068789225767 |
| 5.253192997626414 | -1.0138998790596934 |
| -0.14220978411157215 | 0.3796606637573854 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *0.7690747103825* | *1.5430132286614777* |

**Количество шагов обучения:**

*10000000*

**Ошибка обучения:**

*0.12558502995337484*

**Результат:**

*79.73995111599788,*

*96.25382205644817,*

*110.37274016986058,*

*122.05256136451135,*

*125.14648931246825*

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

| 1.2850665920005875 | 0.3430303633001998 |
| --- | --- |
| -0.16651566711632507 | 1.496236515362247 |
| 0.44036969528391 | -0.04455888363916008 |
| -1.1234160737798735 | -1.6163678488637097 |
| -0.3923778373467508 | -0.6256072961258659 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *0.2556187289979114* | *-1.2381192029431862* |

**Количество шагов обучения:**

*10000000*

**Ошибка обучения:**

*0.14852546720365725*

**Результат:**

*79.65923923128261,*

*95.74497544407764,*

*109.76466060965298,*

*119.64152597010381,*

*122.40445467103174*

* **Последовательность (1, 2, 5, 15, 52, 203, 877, 4140, 2114)**
  + Количество нейронов скрытого слоя - 2
  + Размер окна - 6
  + Шаг обучения *-* 0.0000000005
  + Максимально допустимая ошибка —0.0000005
  + Максимальное количество итераций - 10000000

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

| *-25.232389431813516* | *8.898654615526526* |
| --- | --- |
| *-49.572514409568896* | *16.944391467018143* |
| *-105.25054482845536* | *35.58408411310709* |
| *-232.86544303893342* | *79.35762812330283* |
| *-423.78194604737763* | *144.5052229372278* |
| *152.50199606980777* | *-50.36727083667625* |
| *-0.6162930685870611* | *-0.10230619898988791* |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *2.816413330278784* | *-2.81487567* |

**Количество шагов обучения:**

*10000000*

**Ошибка обучения:**

*105330.30758192051*

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

*31462.59086681076,*

*558711.4521747036,*

*2869850.18805407,*

*8362588.339869458,*

*4.533885903726107E7*

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

| 0.670688054939497 | 1.8109303088070394 |
| --- | --- |
| 3.7114563152118776 | 2.0207095802810864 |
| 7.920451698002654 | 3.559824410082623 |
| 18.736810513001046 | 8.204239521433854 |
| 35.95259783177238 | 12.487646353807232 |
| -9.106178815882803 | -6.556739558541733 |
| -0.5821377928353262 | 0.3192944118436507 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *13.81266222637061* | *-1.4234940891124876* |

**Количество шагов обучения:**

*10000000*

**Ошибка обучения:**

*706788.220874212*

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

*-9651.613973302561,*

*1994054.725663345,*

*-347171.25885732844,*

*-2.3519837993133408E8,*

*1.4187981256755414E9*

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

| -16.284133316781105 | -20.832092043763282 |
| --- | --- |
| -32.01480877563111 | -40.63092890214227 |
| -68.42252155013574 | -85.07147676270274 |
| -151.8201037291715 | -187.53895975565996 |
| -274.48495644761454 | -343.4624312985347 |
| 97.03562632874852 | 116.56621157125713 |
| -0.1870887078098884 | 0.8122747631587108 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *8.140413676937053* | *-6.888663680574713* |

**Количество шагов обучения:**

*10000000*

**Ошибка обучения:**

*9207978.494101007*

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

*88096.10619736498,*

*910270.1004554555,*

*2871362.5300262272,*

*1.0934205648865461E7,*

*1.2914942584188819E8*

* **Последовательность (1, 2, 6, 24, 120, 720, 5040, 40320)**
  + Количество нейронов скрытого слоя - 2
  + Размер окна - 6
  + Шаг обучения *-* 0.000000000005
  + Максимально допустимая ошибка —0.0000005
  + Максимальное количество итераций - 10000000

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

| *0.9588876632981661* | *0.8106163029875343* |
| --- | --- |
| *0.10178915523028814* | *-0.03786774153578456* |
| *0.40238866025767056* | *-0.5331992861223465* |
| *0.3164582061510858* | *1.0323158485377661* |
| *-0.27065555773149724* | *1.6252417479655559* |
| *-2.8421007470056163* | *5.448242534464648* |
| *0.40566288954185814* | *0.9538279527122184* |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *-1.341488170096389* | *3.5889091362726786* |

**Количество шагов обучения:**

*7918672*

**Ошибка обучения:**

*476159.103764*

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

*304074.9654526288,*

*2344316.7444423297,*

*1.79234199152231E7,*

*1.3747025500075987E8,*

*1.0530966609575853E9,*

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

| 0.15715568882989162 | 0.2242324690342759 |
| --- | --- |
| -0.5532980046319405 | 0.45108786441321147 |
| -0.5869554424471917 | 0.01872348031248385 |
| -0.6006051158294543 | -0.8407617262140208 |
| 0.6525986322038942 | 0.4567187978642441 |
| 3.4296095174083434 | 2.3712467889354345 |
| 0.951403138209614 | 0.12652702001113503 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *3.6951312649790466* | *2.8836973999497584* |

**Количество шагов обучения:**

*10000000*

**Ошибка обучения:**

*2349844.9387720713*

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

*306325.4651374162,*

*2366487.7267530262,*

*1.8189413608632267E7,*

*1.4002286079249644E8,*

*1.0774045601237628E9*

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

| 0.7887074097865652 | 0.27213956905592845 |
| --- | --- |
| -0.6021101024995152 | 0.6886513464159072 |
| 0.8366540533158133 | 0.4394511993968253 |
| -0.5410853518914929 | -0.31081485829560035 |
| -0.30753946534438464 | -1.008900322921547 |
| 2.1662130492264704 | -4.433364667301702 |
| 0.9837216068085661 | -0.5979111879215329 |

**Матрица весов после обучения на втором слое**

|  |  |
| --- | --- |
| *2.664134119973377* | *-2.518692783100628* |

**Количество шагов обучения:**

*6898648*

**Ошибка обучения:**

*4.999989385217122E-7*

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

*310005.75738153205,*

*2409381.809806225,*

*1.8671206885851327E7,*

*1.448043368526209E8,*

*1.1227928023812418E9*

*Замечания: Стартовая ошибка при данном запуске была около 4, что и привело к получению таких значений.*

**Вывод:**

В ходе лабораторной работы была реализована модель сети Джордана 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.