

Дипломная работа на тему:

«Нейросетевой способ классификации
искусственных спутников Земли по
параметрам их орбит»

Слушателя:
А.

Иванова П.

Цели и задачи

- Обработка и частичная коррекция данных об орбитах спутников в формате TLE
- Предварительная обработка данных перед подачей на вход нейронной сети
- Реализация алгоритма нейросетевой классификации искусственных спутников Земли по параметрам их орбит

Формат TLE

- Первая строка (необязательная)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| I | S | S | | (| Z | A | R | Y | A |) | | | | | | | | | | | | | |

- Вторая строка (обязательная)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | | | |
| 1 | | 2 | 5 | 5 | 4 | 4 | U | | 9 | 8 | 0 | 6 | 7 | A | | | 0 | 8 | 2 | 6 | 4 | . | 5 | 1 | 7 | 8 | 2 | 5 | 2 | 8 | | | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | 4 | | | 5 | 6 | | 7 | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 |
| - | . | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 8 | 2 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | | - | 1 | 1 | 6 | 0 | 6 | - | 4 | | 0 | | 2 | 9 | 2 | 7 | | |
| 9 | | | | | | | | | 10 | | | | | | 11 | | | | | | 12 | 13 | | | 14 | | | | | | | | | | |

- Третья строка (обязательная)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | | | |
| 2 | | 2 | 5 | 5 | 4 | 4 | | | 5 | 1 | . | 6 | 4 | 1 | 6 | | 2 | 4 | 7 | . | 4 | 6 | 2 | 7 | | 0 | 0 | 0 | 6 | 7 | 0 | 3 | | | |
| 1 | 2 | | | 3 | | | | | | 4 | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 |
| | 1 | 3 | 0 | . | 5 | 3 | 6 | 0 | | 3 | 2 | 5 | . | 0 | 2 | 8 | 8 | | 1 | 5 | . | 7 | 2 | 1 | 2 | 5 | 3 | 9 | 1 | 5 | 6 | 3 | 5 | 3 | 7 |
| 6 | | | | | | 7 | | | | | | 8 | | | | | | 9 | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | |

Обработка входных файлов

- Пример входного файла

```
SAUDISAT 1C
1 27607U 02058C 19263.88859977 -.00000054 00000-0 13330-4 0 9993
2 27607 64.5541 121.6008 0076759 238.2678 121.0928 14.75572135900807
SAUDISAT 2
1 28371U 04025F 19264.74495034 .00000168 00000-0 50153-4 0 9993
2 28371 98.2381 211.9451 0025189 307.6354 52.2549 14.54353620807971
```

- Пример выходного файла

```
SAUDISAT 1C      1 27607U 02058C 19263.88859977 -.00000054 00000-0 13330-4 0 9993 2 27607 64.5541...
SAUDISAT 2      1 28371U 04025F 19264.74495034 .00000168 00000-0 50153-4 0 9993 2 28371 98.2381...
SAUDISAT 3      1 31118U 07012B 19264.72380979 -.00000005 00000-0 71470-5 0 9991 2 31118 97.8261...
```

- Пример строки с ошибкой в типе данных поля

TEST.txt – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```
SAUDISAT 1C
1 276.7U 02058C 19263.88859977 -.00000054 0000
2 27607 64.5541 121.6008 0076759 238.2678 121.09
```

error_TEST.txt – Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

```
SAUDISAT 1C      1 276.7U 02058C 1926...
----ERROR IN FIELD NORAD NUMBER -- MUST BE INTEGER
```

- Пример коррекции строки спутника без названия

```
1 28371U 04025F 19264.74495034 .00000168 0000
2 28371 98.2381 211.9451 0025189 307.6354 52.25
```

correct_TEST.txt – Блокнот

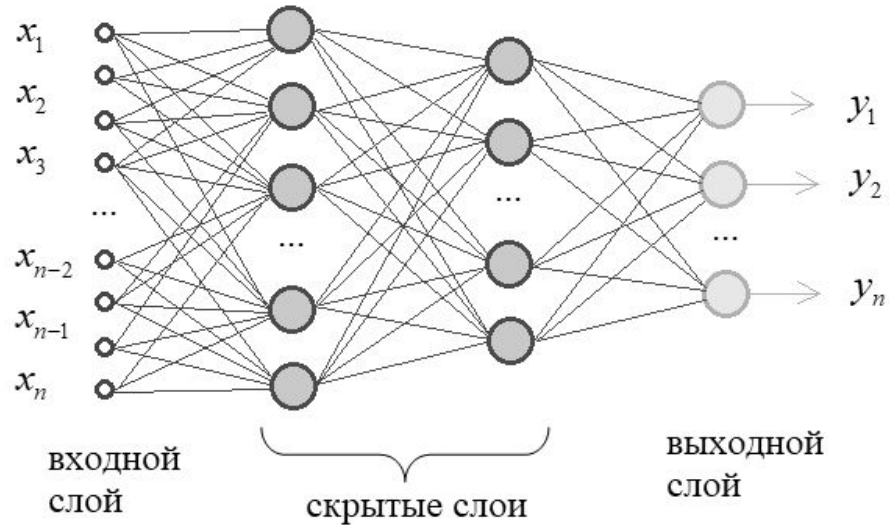
Файл Правка Формат Вид Справка

```
1 28371U 04025F 19264.74495034 ...
```

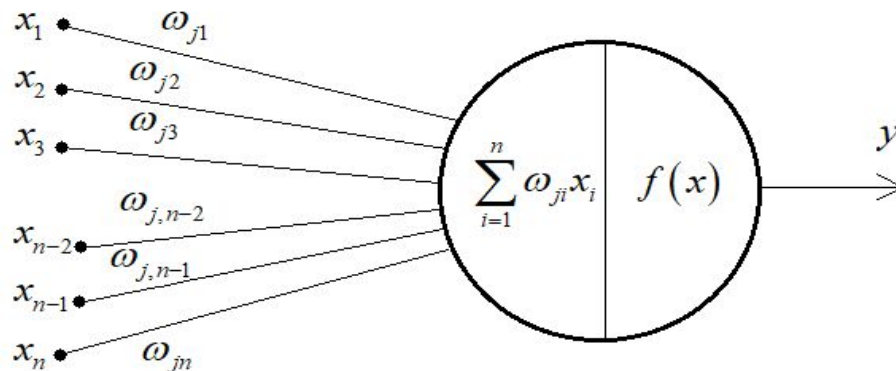
Обработка данных перед подачей на нейронную сеть

- Интерпретация полей «вторая производная от среднего движения», «коэффициент торможения V^* », «эксцентриситет» и «международное обозначение (часть запуска)»
- уравнение количества спутников всех видов – зашумление реальных данных
- Нормализация данных
- Формирование тренировочной, валидационной и тестовой выборок
- Создание меток для каждого класса спутников
- Перемешивание данных в выборках и меток случайным образом

Модель полносвязной нейронной сети



Модель искусственного нейрона



Реализация нейронной сети

...

Создание модели

...

```
model = keras.Sequential([
    keras.layers.Dense(number_of_params, input_shape=(number_of_params,)),
])

for i in range(4):
    model.add(keras.layers.Dense(110, activation=tf.nn.tanh))
last_layer = keras.layers.Dense(fi.number_of_classes, activation=tf.nn.softmax)
model.add(last_layer)
```

```
model.summary()
model.compile(optimizer='Adam',
              loss='sparse_categorical_crossentropy',
              metrics=['accuracy'])
```

...

Обучение модели

...

```
start_time = time.time()
history = model.fit(dataset, flagy, epochs=24)
stop_time = time.time()
```

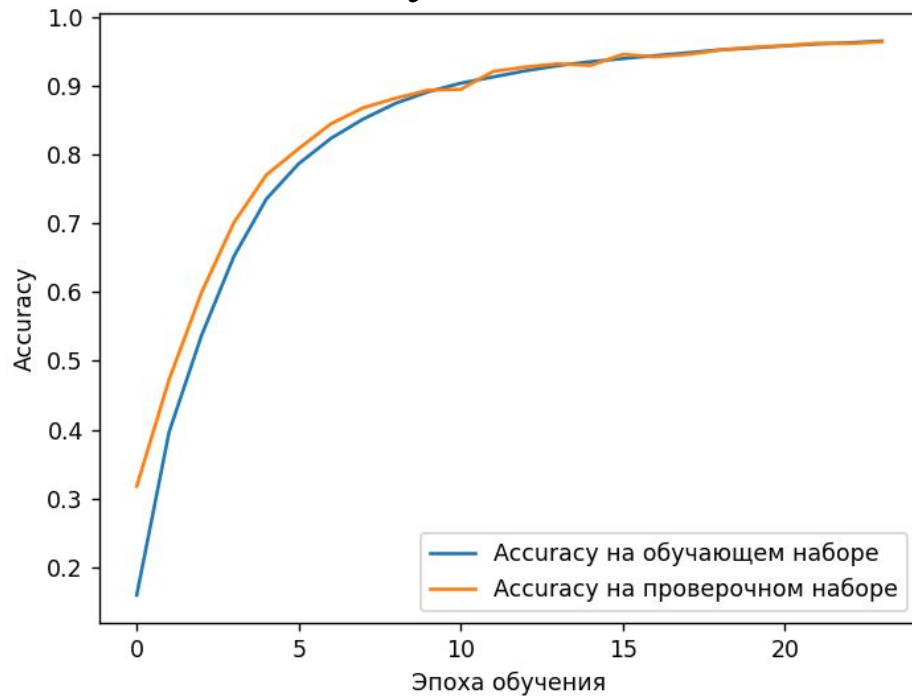
| Layer (type) | Output Shape | Param # |
|-----------------|--------------|---------|
| dense (Dense) | (None, 20) | 420 |
| dense_1 (Dense) | (None, 110) | 2310 |
| dense_2 (Dense) | (None, 110) | 12210 |
| dense_3 (Dense) | (None, 110) | 12210 |
| dense_4 (Dense) | (None, 110) | 12210 |
| dense_5 (Dense) | (None, 34) | 3774 |

Total params: 43,134
Trainable params: 43,134
Non-trainable params: 0

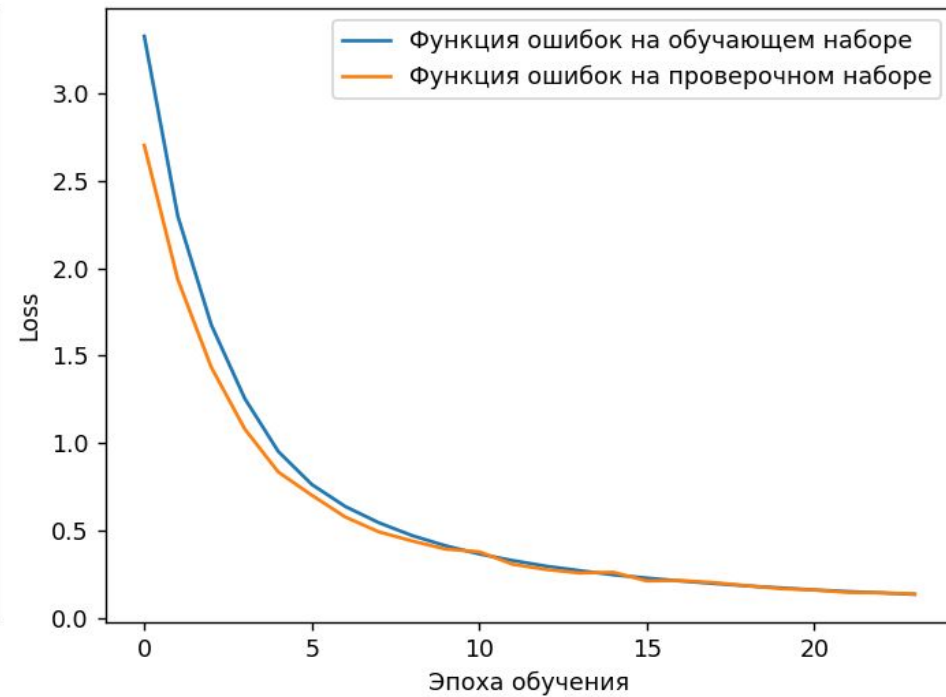
Оценка качества и графики обучения нейронной сети

Test accuracy: 0.9826989769935608
learning time: 76.90609550476074
number of errors in test dataset 30
probability of correct prediction in test dataset 98.3 %

- Зависимость значения функции ошибок (loss) от эпохи обучения



- Зависимость точности (accuracy) от эпохи обучения



Выходной файл обработки тестовых данных

| test | prediction | ERRORS |
|-------------|-------------|--------|
| iridium | iridium | |
| radar | radar | |
| resource | resource | |
| spire | spire | |
| planet | planet | |
| globalstar | globalstar | |
| gps-ops | gps-ops | |
| goes | goes | |
| engineering | engineering | |
| goes | goes | |
| intelsat | ses | ERROR |
| noaa | noaa | |
| weather | weather | |
| stations | stations | |
| engineering | engineering | |
| ... | | |
| tdrss | tdrss | |

Блок схема алгоритма

