

Лабораторная работа №6  
по дисциплине  
«Методы машинного обучения»  
на тему  
«Рекуррентные нейронные сети»

Выполнил:  
студент группы ИУ5-24М  
Зубаиров В. А.

---

# 1. Цель лабораторной работы

Научиться работать с рекуррентными нейронными сетями в TensorFlow.

## 2. Задание

Требуется собрать рекуррентную нейронную сеть и обеспечить её работу на 3 наборах данных:

1. 2 связанных временных ряда (двумерный временной ряд).
2. Сигнал, являющийся суперпозицией двух синусоид с разным периодом и смещением.
3. Аналогичный сигнал с наложенным шумом.

## 3. Ход работы

Импорт библиотек.

```
[1]: %tensorflow_version 1.14
```

`%tensorflow\_version` only switches the major version: 1.x or 2.x.  
You set: `1.14`. This will be interpreted as: `1.x`.

TensorFlow 1.x selected.

```
[0]: from IPython.display import set_matplotlib_formats
import matplotlib.pyplot as plt
import math
import numpy as np
import random
import tensorflow as tf
from tqdm import trange
```

```
[3]: tf.__version__
```

```
[3]: '1.15.2'
```

Настроим отображение графиков.

```
[0]: %matplotlib inline
set_matplotlib_formats("retina")
```

Код для построения графиков

```
[0]: def gr(X, Y, outputs, batch_size):
    output_dim = X.shape[2]
    for j in range(batch_size):
        plt.figure(figsize=(12, 3))

        for k in range(output_dim):
            past = X[:,j,k]
```

```

expected = Y[:,j,k]
pred = outputs[:,j,k]

label1 = "Seen (past) values" if k==0 else "_nolegend_"
label2 = "True future values" if k==0 else "_nolegend_"
label3 = "Predictions" if k==0 else "_nolegend_"

plt.plot(range(len(past)), past, "o--b", label=label1)
plt.plot(range(len(past), len(expected)+len(past)),
         expected, "x--b", label=label2)
plt.plot(range(len(past), len(pred)+len(past)),
         pred, "o--y", label=label3)

plt.legend(loc='best')
plt.title("Predictions vs true values")
plt.show()

```

### 3.1. Генерация данных

Вставим код для генерации данных, требуемых по заданию.

#### 3.1.1. Упражнение 1

Двумерный ряд

```

[0]: def generate_x_y_data_v1(isTrain, batch_size):
    seq_length = 10

    batch_x = []
    batch_y = []
    for _ in range(batch_size):
        # Одна итерация цикла генерирует 1 пакет данных
        rand = random.random() * 2 * math.pi

        # Генерируем набор данных по заданному закону
        # генерирует набор точек, равномерно распределенных
        # по заданному интервалу
        # (границы интервала смещены на случайную величину)
        sig1 = np.sin(np.linspace(0.0 * math.pi + rand,
                                   3.0 * math.pi + rand, seq_length * 2))
        sig2 = np.cos(np.linspace(0.0 * math.pi + rand,
                                   3.0 * math.pi + rand, seq_length * 2))

        # первую половину сигналов берем на обучающую выборку,
        # вторую - на контрольную
        x1 = sig1[:seq_length]
        y1 = sig1[seq_length:]
        x2 = sig2[:seq_length]
        y2 = sig2[seq_length:]

```

```

x_ = np.array([x1, x2])
y_ = np.array([y1, y2])
x_, y_ = x_.T, y_.T

batch_x.append(x_)
batch_y.append(y_)

batch_x = np.array(batch_x)
batch_y = np.array(batch_y)
# размерность: (batch_size, seq_length, output_dim)
# транспонируем, чтобы привести к нужной размерности
batch_x = np.array(batch_x).transpose((1, 0, 2))
batch_y = np.array(batch_y).transpose((1, 0, 2))
# размерность: (seq_length, batch_size, output_dim)

return batch_x, batch_y

```

### 3.1.2. Упражнение 2

```

[0]: def generate_x_y_data_two_freqs(isTrain, batch_size, seq_length):
    batch_x = []
    batch_y = []

    for _ in range(batch_size):
        offset_rand = random.random() * 2 * math.pi
        freq_rand = (random.random() - 0.5) / 1.5 * 15 + 0.5
        amp_rand = random.random() + 0.1

        sig1 = amp_rand * np.sin(np.linspace(
            seq_length / 15.0 * freq_rand * 0.0 * math.pi + offset_rand,
            seq_length / 15.0 * freq_rand * 3.0 * math.pi + offset_rand,
            seq_length * 2)
        )

        offset_rand = random.random() * 2 * math.pi
        freq_rand = (random.random() - 0.5) / 1.5 * 15 + 0.5
        amp_rand = random.random() * 1.2
        sig1 = amp_rand * np.cos(np.linspace(
            seq_length / 15.0 * freq_rand * 0.0 * math.pi + offset_rand,
            seq_length / 15.0 * freq_rand * 3.0 * math.pi + offset_rand,
            seq_length * 2)
        ) + sig1

        x1 = sig1[:seq_length]
        y1 = sig1[seq_length:]
        x_ = np.array([x1])
        y_ = np.array([y1])
        x_, y_ = x_.T, y_.T

```

```

batch_x.append(x_)
batch_y.append(y_)

batch_x = np.array(batch_x)
batch_y = np.array(batch_y)
# размерность: (batch_size, seq_length, output_dim)
batch_x = np.array(batch_x).transpose((1, 0, 2))
batch_y = np.array(batch_y).transpose((1, 0, 2))
# размерность: (seq_length, batch_size, output_dim)

return batch_x, batch_y

```

```

[0]: def generate_x_y_data_v2(isTrain, batch_size):
    return generate_x_y_data_two_freqs(isTrain, batch_size, seq_length=15)

```

### 3.1.3. Упражнение 3

```

[0]: def generate_x_y_data_v3(isTrain, batch_size):
    seq_length = 30
    x, y = generate_x_y_data_two_freqs(
        isTrain, batch_size, seq_length=seq_length)
    noise_amount = random.random() * 0.15 + 0.10
    x = x + noise_amount * np.random.randn(seq_length, batch_size, 1)

    avg = np.average(x)
    std = np.std(x) + 0.0001
    x = x - avg
    y = y - avg
    x = x / std / 2.5
    y = y / std / 2.5

    return x, y

```

## 3.2. Описание модели

Напишем весь код, требуемый для модели. Сначала создадим сессию.

```

[0]: sess = tf.InteractiveSession()

```

Теперь создадим функцию, выдающую требуемый граф вычислений.

```

[0]: def create_model(input_len, input_dim=1,
    output_len=None, output_dim=None,
    hidden_dim=12, layers_stacked_count=2,
    learning_rate=0.007, lr_decay=0.92,
    momentum=0.5, lambda_l2_reg=0.003):
    if output_len is None:
        output_len = input_len
    if output_dim is None:
        output_dim = input_dim

```

```

print(locals())

g = tf.Graph()
with g.as_default():
    with tf.variable_scope('Seq2seq'):
        enc_inp = [
            tf.placeholder(tf.float32, shape=(None, input_dim),
                           name="inp_{}".format(t))
            for t in range(input_len)
        ]

        expected_sparse_output = [
            tf.placeholder(tf.float32, shape=(None, output_dim),
                           name="expected_sparse_output_{}".format(t))
            for t in range(output_len)
        ]

        dec_inp = [tf.zeros_like(enc_inp[0], dtype=np.float32,
                                   name="GO")] + enc_inp[:-1]

        cells = []
        for i in range(layers_stacked_count):
            with tf.variable_scope('RNN_{}'.format(i)):
                cells.append(tf.contrib.rnn.GRUCell(hidden_dim))
        cell = tf.contrib.rnn.MultiRNNCell(cells)

        w_in = tf.Variable(tf.random_normal([input_dim, hidden_dim]))
        b_in = tf.Variable(tf.random_normal([hidden_dim], mean=1.0))
        w_out = tf.Variable(tf.random_normal([hidden_dim, output_dim]))
        b_out = tf.Variable(tf.random_normal([output_dim]))

        reshaped_inputs = [tf.nn.relu(tf.matmul(i, w_in) + b_in)
                            for i in enc_inp]

        seq2seq = tf.contrib.legacy_seq2seq.basic_rnn_seq2seq
        dec_outputs, dec_memory = seq2seq(enc_inp, dec_inp, cell)

        output_scale_factor = tf.Variable(1.0, name="Output_ScaleFactor")
        reshaped_outputs = [output_scale_factor * (tf.matmul(i, w_out)
                                                    + b_out)
                             for i in dec_outputs]

    with tf.variable_scope('Loss'):
        # L2 loss
        output_loss = 0
        for _y, _Y in zip(reshaped_outputs, expected_sparse_output):
            output_loss += tf.reduce_mean(tf.nn.l2_loss(_y - _Y))

        # слагаемое, отвечающее за L2 регуляризацию
        reg_loss = 0

```

```

for tf_var in tf.trainable_variables():
    if not ("Bias" in tf_var.name or "Output_" in tf_var.name):
        reg_loss += tf.reduce_mean(tf.nn.l2_loss(tf_var))

loss = output_loss + lambda_l2_reg * reg_loss

with tf.variable_scope('Optimizer'):
    optimizer = tf.train.RMSPropOptimizer(learning_rate,
                                          decay=lr_decay,
                                          momentum=momentum)
    train_op = optimizer.minimize(loss)
return (g, enc_inp, expected_sparse_output, train_op, loss,
        reshaped_outputs)

```

Функция, которая будет запускать модель с необходимыми данными

```

[0]: def run_model(model, generator, batch_size=32,
                nb_iters=150, nb_predictions=1):
    if nb_iters % 10 != 0:
        raise ValueError('nb_iters does not divide on 10')

    g, x_vars, y_vars, train_op, loss, result = model

    def train_batch(batch_size):
        X, Y = generator(isTrain=True, batch_size=batch_size)
        feed_dict = {x_vars[t]: X[t] for t in range(len(x_vars))}
        feed_dict.update({y_vars[t]: Y[t] for t in range(len(y_vars))})

        _, loss_t = sess.run([train_op, loss], feed_dict)
        return loss_t

    def test_batch(batch_size):
        X, Y = generator(isTrain=False, batch_size=batch_size)
        feed_dict = {x_vars[t]: X[t] for t in range(len(x_vars))}
        feed_dict.update({y_vars[t]: Y[t] for t in range(len(y_vars))})

        loss_t = sess.run(loss, feed_dict)
        return loss_t

    train_losses = []
    test_losses = []

    with g.as_default():
        with tf.Session() as sess:
            sess.run(tf.global_variables_initializer())

            test_loss = -1
            with trange(nb_iters+1, ncols=70) as tq:
                for t in tq:
                    train_loss = train_batch(batch_size)
                    train_losses.append(train_loss)

```

```

tq.set_postfix(train=train_loss, test=test_loss)

if t % 10 == 0:
    test_loss = test_batch(batch_size)
    test_losses.append(test_loss)
    tq.set_postfix(train=train_loss, test=test_loss)

# Show loss graph
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(
    (np.array(range(0, len(test_losses))) /
     float(len(test_losses)-1) * (len(train_losses)-1)),
    np.log(test_losses),
    label="Test loss"
)
plt.plot(
    np.log(train_losses),
    label="Train loss"
)
plt.title("Training errors over time (on a logarithmic scale)")
plt.xlabel('Iteration')
plt.ylabel('log(Loss)')
plt.legend(loc='best')
plt.show()

# Show sample graphs
X, Y = generator(isTrain=False, batch_size=nb_predictions)
feed_dict = {x_vars[t]: X[t] for t in range(len(x_vars))}
outputs = np.array(sess.run(result, feed_dict))
gr(X, Y, outputs, nb_predictions)

```

### 3.3. Выполнение упражнений

#### 3.3.1. Упражнение 1

[14]:

```

generator = generate_x_y_data_v1
x, _ = generator(True, 1)
model = create_model(x.shape[0], x.shape[2])
run_model(model, generator, nb_iters=200)

```

```

{'lambda_12_reg': 0.003, 'momentum': 0.5, 'lr_decay': 0.92, 'learning_rate':
0.007, 'layers_stacked_count': 2, 'hidden_dim': 12, 'output_len': 10,
'input_len': 10, 'output_dim': 2, 'input_dim': 2}

```

WARNING:tensorflow:

The TensorFlow contrib module will not be included in TensorFlow 2.0.

For more information, please see:

\* <https://github.com/tensorflow/community/blob/master/rfcs/20180907-contrib-sunset.md>

\* <https://github.com/tensorflow/addons>



\* <https://github.com/tensorflow/io> (for I/O related ops)

If you depend on functionality not listed there, please file an issue.

WARNING:tensorflow:From <ipython-input-12-a2da2a5b8629>:34: GRUCell.\_\_init\_\_ (from tensorflow.python.ops.rnn\_cell\_impl) is deprecated and will be removed in a future version.

Instructions for updating:

This class is equivalent as tf.keras.layers.GRUCell, and will be replaced by that in Tensorflow 2.0.

WARNING:tensorflow:From <ipython-input-12-a2da2a5b8629>:35:

MultiRNNCell.\_\_init\_\_ (from tensorflow.python.ops.rnn\_cell\_impl) is deprecated and will be removed in a future version.

Instructions for updating:

This class is equivalent as tf.keras.layers.StackedRNNCells, and will be replaced by that in Tensorflow 2.0.

WARNING:tensorflow:From /tensorflow-1.15.2/python3.6/tensorflow\_core/contrib/legacy\_seq2seq/python/ops/seq2seq.py:186: static\_rnn (from tensorflow.python.ops.rnn) is deprecated and will be removed in a future version.

Instructions for updating:

Please use `keras.layers.RNN(cell, unroll=True)`, which is equivalent to this API

WARNING:tensorflow:From

/tensorflow-1.15.2/python3.6/tensorflow\_core/python/ops/rnn\_cell\_impl.py:559:

Layer.add\_variable (from tensorflow.python.keras.engine.base\_layer) is deprecated and will be removed in a future version.

Instructions for updating:

Please use `layer.add\_weight` method instead.

WARNING:tensorflow:From

/tensorflow-1.15.2/python3.6/tensorflow\_core/python/ops/rnn\_cell\_impl.py:565:

calling Constant.\_\_init\_\_ (from tensorflow.python.ops.init\_ops) with dtype is deprecated and will be removed in a future version.

Instructions for updating:

Call initializer instance with the dtype argument instead of passing it to the constructor

WARNING:tensorflow:From

/tensorflow-1.15.2/python3.6/tensorflow\_core/python/ops/rnn\_cell\_impl.py:575:

calling Zeros.\_\_init\_\_ (from tensorflow.python.ops.init\_ops) with dtype is deprecated and will be removed in a future version.

Instructions for updating:

Call initializer instance with the dtype argument instead of passing it to the constructor

WARNING:tensorflow:From

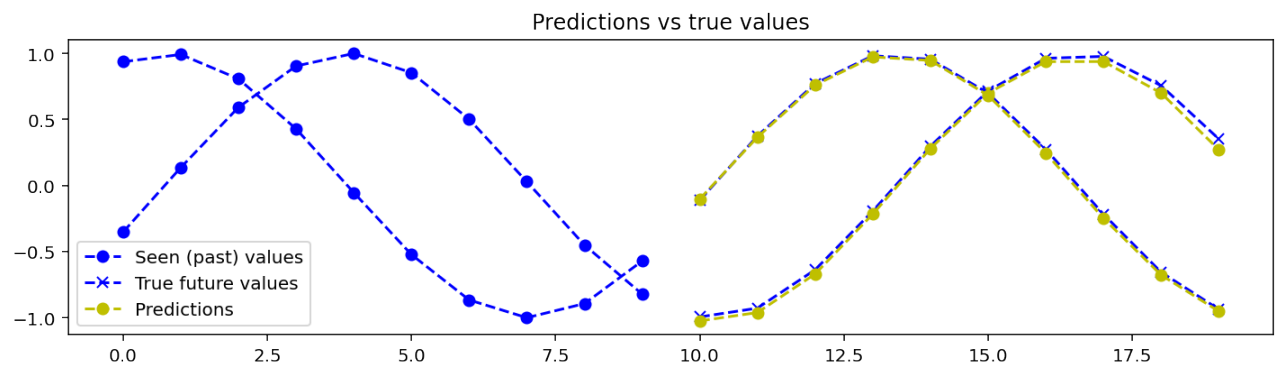
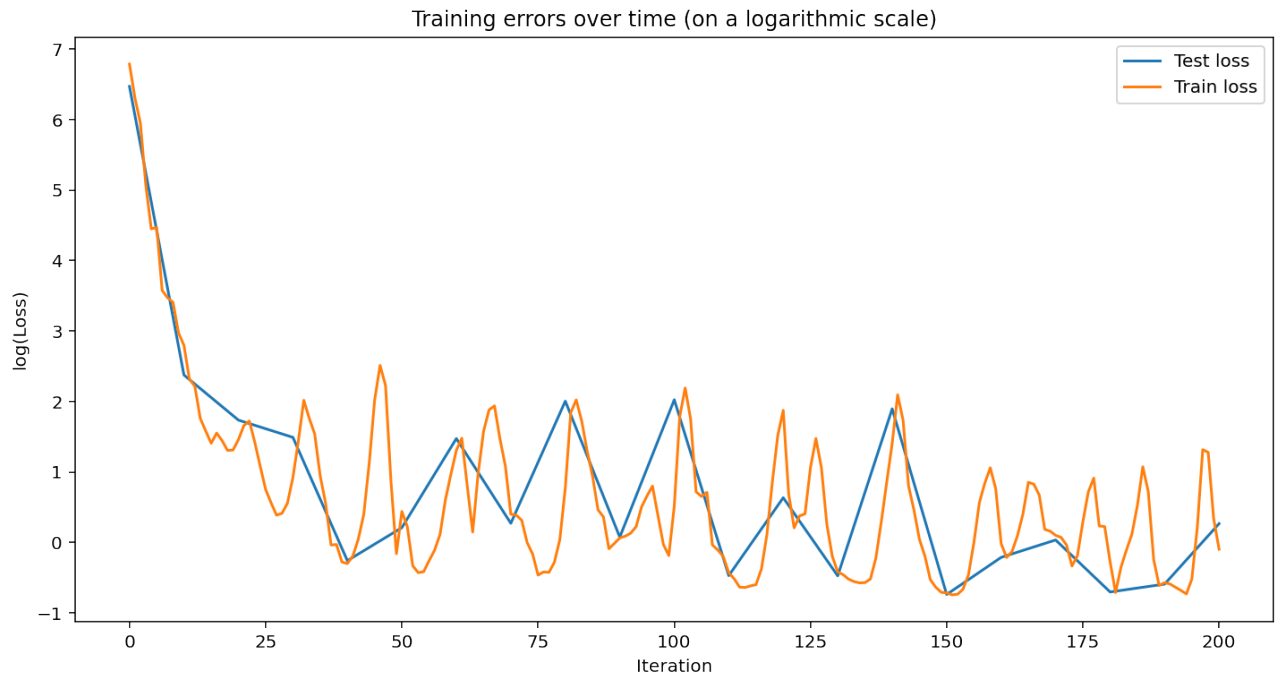
/tensorflow-1.15.2/python3.6/tensorflow\_core/python/training/rmsprop.py:119:

calling Ones.\_\_init\_\_ (from tensorflow.python.ops.init\_ops) with dtype is deprecated and will be removed in a future version.

Instructions for updating:

Call initializer instance with the dtype argument instead of passing it to the constructor

100% ██████████ 201/201 [00:07<00:00, 27.84it/s, test=1.31, train=0.909]

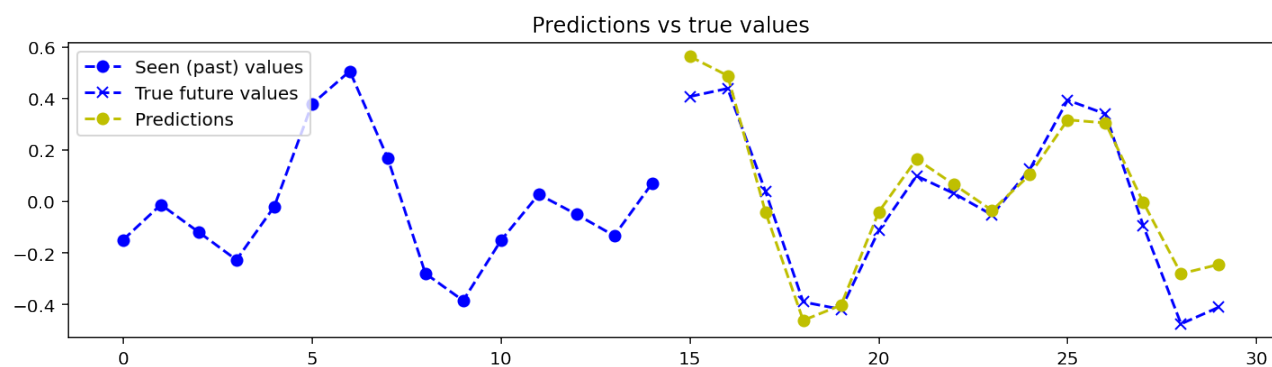
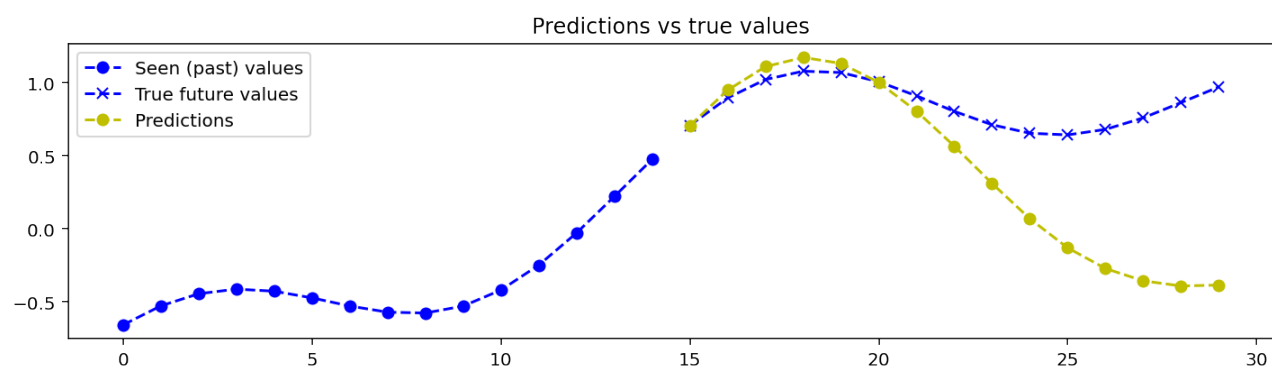


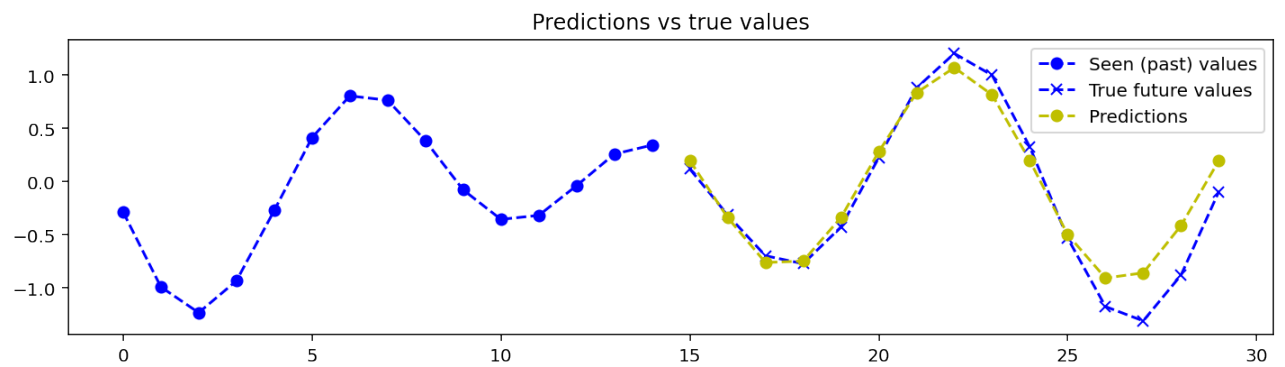
### 3.3.2. Упражнение 2

```
[15]: generator = generate_x_y_data_v2
x, _ = generator(True, 1)
model = create_model(x.shape[0], x.shape[2],
                    hidden_dim=50)
run_model(model, generator, batch_size=64,
          nb_iters=2500, nb_predictions=3)
```

```
{'lambda_l2_reg': 0.003, 'momentum': 0.5, 'lr_decay': 0.92, 'learning_rate':
0.007, 'layers_stacked_count': 2, 'hidden_dim': 50, 'output_len': 15,
'input_len': 15, 'output_dim': 1, 'input_dim': 1}
```

100% [██████████] 2501/2501 [01:19<00:00, 31.64it/s, test=57.2, train=47.8]





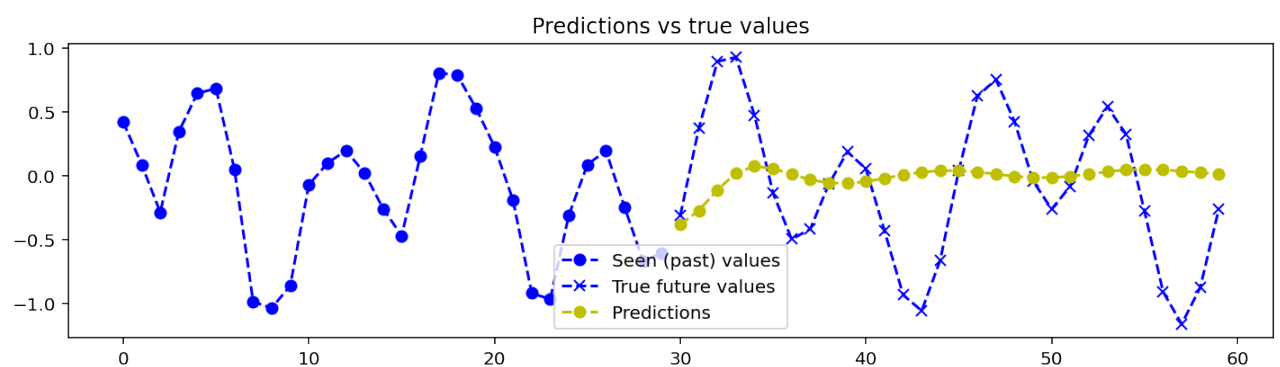
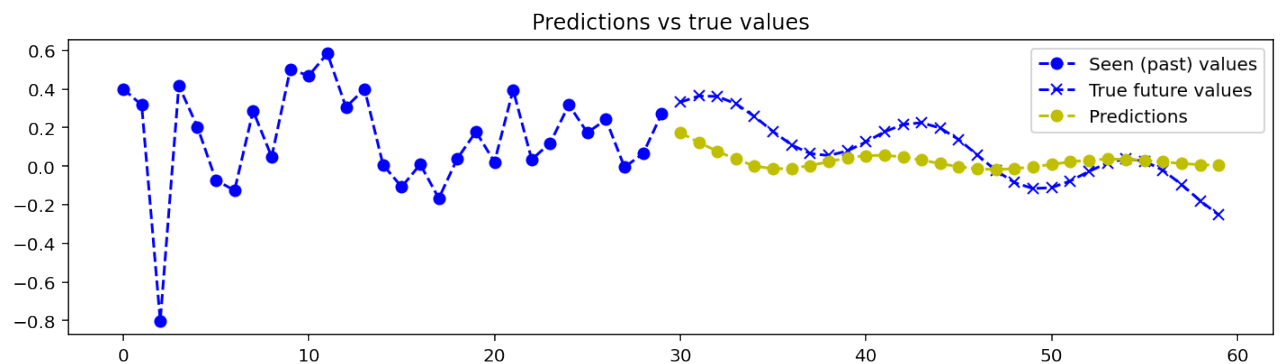
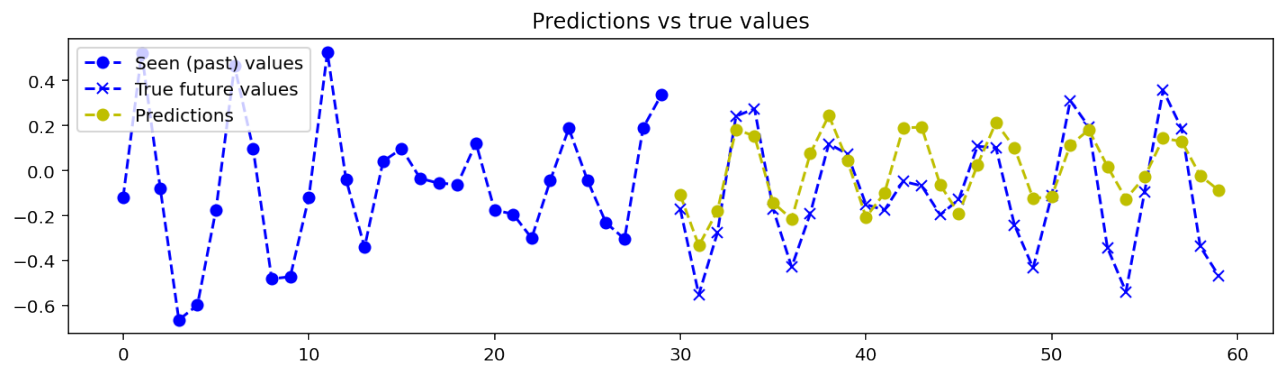
### 3.3.3. Упражнение 3

```
[16]: generator = generate_x_y_data_v3
x, _ = generator(True, 1)
model = create_model(x.shape[0], x.shape[2],
                    hidden_dim=50)
run_model(model, generator, batch_size=64,
          nb_iters=2500, nb_predictions=3)
```

```
{'lambda_l2_reg': 0.003, 'momentum': 0.5, 'lr_decay': 0.92, 'learning_rate':
0.007, 'layers_stacked_count': 2, 'hidden_dim': 50, 'output_len': 30,
'input_len': 30, 'output_dim': 1, 'input_dim': 1}
```

100% [██████████] 2501/2501 [02:08<00:00, 19.43it/s, test=83.2, train=69.1]





## 4. Ответы на вопросы.

- 1) Преимущество рекуррентных нейронных сетей перед обычными персептронами.  
В RNN есть память, поэтому она может влиять на следующие входные данные.

2) Регуляризация и зачем она?

Штрафует за слишком большие веса (страховка от переобучения). L2(чаще всего), L1 (убирает признаки).

3) Пакетный, мини-пакетный, онлайнный градиентный спуск.

Есть градиентный. Там нужно считать по всей матрице, это очень долго и сложно. Поэтому используют стохастический (онлайнный). В нем берется случайный пример и по нему считается градиент. В пакетном считается по всей выборке, но веса обновляются только когда полностью пройдет эпоха. В случае мини-пакетного примеры разбиваются на несколько наборов и затем они используются для обновления весов и подсчета ошибки.

4) Ответ на вопрос по коду. :-)

## 5. Список литературы

- [1] Google. Tensorflow. 2018. Feb. url - [https://www.tensorflow.org/install/install\\_windows](https://www.tensorflow.org/install/install_windows).
- [2] url - <https://virtualenv.pypa.io/en/stable/userguide/>.
- [3] Microsoft. about\_Execution\_Policies. 2018. url - <https://technet.microsoft.com/en-us/library/dd347641.aspx>.
- [4] Jupyter Project. Installing Jupyter. 2018. url - <http://jupyter.org/install>.