1. **Постановка задачи.**

Пополнить MNIST 11-м классом "не цифры", поместив в него случайно выбранные буквы EMNIST. 11-й класс формируется из представителей всех классов EMNIST.

Используя **PyTorch**, создать и обучить модель нейронной сети для классификации примеров сформированного набора данных.

2. **Формирование 11-ого класса MNIST.**

a) Для обучающей выборки сначала формируем список из 26 элементов. Элементы списка представляют собой массивы из индексов – массив из индексов для каждой буквы алфавита отдельно.

Формирование:

```
ind = []
for i in range(26):
    ind.append(np.where(emnist_ltrn == i)[0])
```

b) Затем для каждого элемента списка массивов индексов оставляем только по 231 примеру для первых 20-ти классов и по 230 примеров для остальных 6-ти классов.

c) Затем формируем ещё один список, содержащий непосредственно изображения для каждого класса отдельно.

Формирование:

```
emnist_train = []
for i in range(26):
    emnist_train.append(emnist_trn[ind[i]])
```

d) Выводим изображения первого класса – “A, a”. Для проверки.

e) Переходим к созданию непосредственно обучающей выборки: изображения и их метки.

Копируем в новый объект изображения из MNIST:

```
x_train = np.copy(mnist_trn)
```

Добавляем в `x_train` элементы из уже сформированного 11-ого класса:

```
for i in range(26):
    x_train = np.append(x_train, emnist_train[i], axis = 0)
[in]: x_train.shape
[out]: (66000, 1, 28, 28)
```

Копируем метки изображений MNIST:

```
y_train = np.copy(mnist_ltrn)
```

Добавляем в `y_train` 6000 меток 10:

```
y_train = np.append(y_train, [10] * 6000, axis = 0)
[in]: y_train.shape
[out]: (66000,)
```

f) Изображения и метки нужно перемешать. Создаём массив из перемешенных индексов:

```
ind = np.random.permutation(x_train.shape[0])
```

```
x_train = x_train[ind]
y_train = y_train[ind]
```

g) Выводим первые 15 изображений обучающей выборки и их метки:

h) Аналогично действия для проверочной выборки. В проверочную порцию данных 11-го класса добавляются по 38 примеров из первых 20-и классов EMNIST и по 40 из последующих (38 * 20 + 40 * 6 = 1000).

3. Подготовка данных, построение модели и обучение.

Разделим обучающую выборку на пакеты:

```
trn_data = [[x, int(y)] for x, y in zip(x_train, y_train)]
trn_loader = DataLoader(trn_data, batch_size = batch_size, shuffle = True)
```

Подготовим проверочные данные:

```
tst_data = torch.tensor(x_test)
tst_target = torch.tensor(np.array(y_test, dtype = np.int64))
```

Построим модель и распечатаем её:

```
Net(
  (conv1): Conv2d(1, 64, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1))
  (conv2): Conv2d(64, 64, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1))
  (conv3): Conv2d(64, 128, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1))
  (conv4): Conv2d(128, 128, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1))
  (conv5): Conv2d(128, 256, kernel_size=(3, 3), stride=(1, 1))
  (pool2d1): MaxPool2d(kernel_size=2, stride=2, padding=0, dilation=1, ceil_mode=False)
  (pool2d2): MaxPool2d(kernel_size=2, stride=2, padding=0, dilation=1, ceil_mode=False)
  (pool2d3): MaxPool2d(kernel_size=2, stride=2, padding=0, dilation=1, ceil_mode=False)
  (b_norm1): BatchNorm2d(64, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True,
track_running_stats=True)
  (b_norm2): BatchNorm2d(128, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True,
track_running_stats=True)
  (b_norm3): BatchNorm1d(256, eps=1e-05, momentum=0.1, affine=True,
track_running_stats=True)
  (fc1): Linear(in_features=256, out_features=512, bias=True)
  (fc2): Linear(in_features=512, out_features=11, bias=True)
)
```

Torchsummary:

```
----------------------------------------------------------------
        Layer (type)               Output Shape         Param #
================================================================
            Conv2d-1         [256, 64, 26, 26]             640
            Conv2d-2         [256, 64, 24, 24]          36,928
         MaxPool2d-3         [256, 64, 12, 12]               0
       BatchNorm2d-4         [256, 64, 12, 12]             128
            Conv2d-5        [256, 128, 10, 10]          73,856
            Conv2d-6          [256, 128, 8, 8]         147,584
         MaxPool2d-7          [256, 128, 4, 4]               0
       BatchNorm2d-8          [256, 128, 4, 4]             256
            Conv2d-9          [256, 256, 2, 2]         295,168
        MaxPool2d-10          [256, 256, 1, 1]               0
      BatchNorm1d-11                [256, 256]             512
           Linear-12                [256, 512]         131,584
           Linear-13                 [256, 11]           5,643
================================================================
Total params: 692,299
Trainable params: 692,299
Non-trainable params: 0
----------------------------------------------------------------
Input size (MB): 0.77
Forward/backward pass size (MB): 245.52
Params size (MB): 2.64
Estimated Total Size (MB): 248.93
----------------------------------------------------------------
```

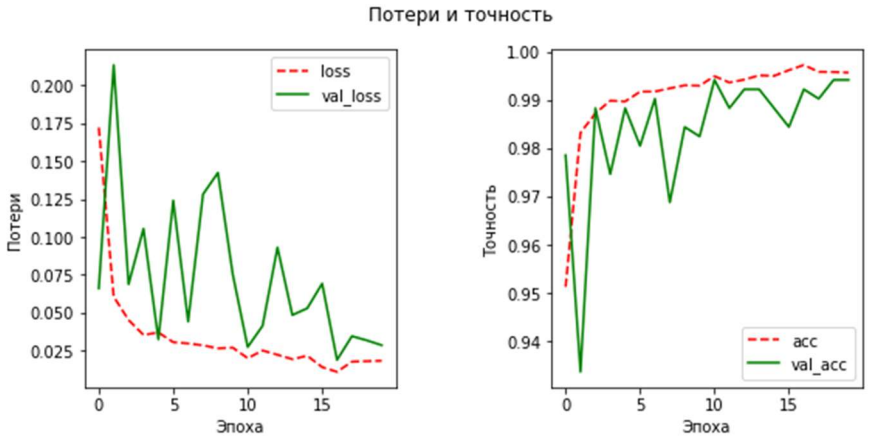
Обучение с выводом точности:

```
Число эпох 20
Обучение
Эпоха: 1 loss: 0.172161 acc: 0.9512 val_loss: 0.066092 val_acc: 0.9785
Эпоха: 2 loss: 0.060592 acc: 0.9832 val_loss: 0.213382 val_acc: 0.9336
Эпоха: 3 loss: 0.045192 acc: 0.9872 val_loss: 0.068769 val_acc: 0.9883
Эпоха: 4 loss: 0.035363 acc: 0.9898 val_loss: 0.105414 val_acc: 0.9746
Эпоха: 5 loss: 0.036963 acc: 0.9897 val_loss: 0.032413 val_acc: 0.9883
Эпоха: 6 loss: 0.030561 acc: 0.9917 val_loss: 0.124034 val_acc: 0.9805
Эпоха: 7 loss: 0.029716 acc: 0.9917 val_loss: 0.044146 val_acc: 0.9902
Эпоха: 8 loss: 0.028462 acc: 0.9924 val_loss: 0.128120 val_acc: 0.9688
Эпоха: 9 loss: 0.026496 acc: 0.9930 val_loss: 0.142341 val_acc: 0.9844
Эпоха: 10 loss: 0.026949 acc: 0.9929 val_loss: 0.075120 val_acc: 0.9824
Эпоха: 11 loss: 0.019992 acc: 0.9949 val_loss: 0.027345 val_acc: 0.9941
Эпоха: 12 loss: 0.025070 acc: 0.9936 val_loss: 0.041374 val_acc: 0.9883
Эпоха: 13 loss: 0.022252 acc: 0.9942 val_loss: 0.093022 val_acc: 0.9922
Эпоха: 14 loss: 0.019349 acc: 0.9951 val_loss: 0.048472 val_acc: 0.9922
Эпоха: 15 loss: 0.021584 acc: 0.9950 val_loss: 0.052928 val_acc: 0.9883
Эпоха: 16 loss: 0.014129 acc: 0.9962 val_loss: 0.069231 val_acc: 0.9844
Эпоха: 17 loss: 0.010998 acc: 0.9972 val_loss: 0.018858 val_acc: 0.9922
Эпоха: 18 loss: 0.017726 acc: 0.9958 val_loss: 0.034530 val_acc: 0.9902
Эпоха: 19 loss: 0.018033 acc: 0.9958 val_loss: 0.031759 val_acc: 0.9941
Эпоха: 20 loss: 0.018310 acc: 0.9957 val_loss: 0.028579 val_acc: 0.9941
```

4. Сохранение модели в файле.

```
if save_model:
        print('Сохранение весов модели')
        torch.save(model.state_dict(), fn_w)
```

5. Графики обучения.



6. Загрузка модели из файла, точность проверочного множества по классам.

```
if load_model:
    print('Загрузка весов из файла', fn_w)
    model.load_state_dict(torch.load(fn_w, map_location = torch.device(device)))
```

```
Потери: 0.058914
Точность: 0.9917
Точность по классам:
0  -  99.49
1  -  99.47
2  -  99.90
3  -  99.80
4  -  99.59
5  -  98.09
6  -  99.27
7  -  98.05
8  -  99.49
9  -  98.61
```

```
10  -  99.30
```

7. **Вывод оценки качества модели посредством classification_report из sklearn.metrics.**

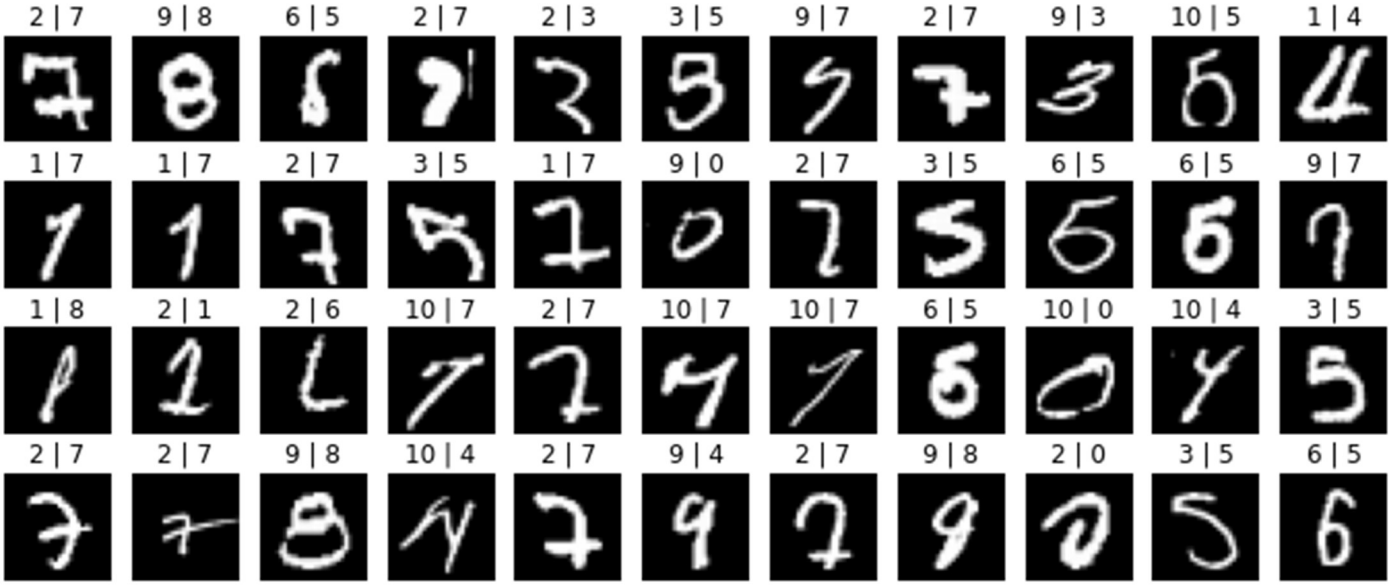
```
              precision    recall  f1-score   support

     Класс 0       0.99      0.99      0.99       980
     Класс 1       0.99      0.99      0.99      1135
     Класс 2       0.99      1.00      0.99      1032
     Класс 3       0.99      1.00      0.99      1010
     Класс 4       0.99      1.00      0.99       982
     Класс 5       0.99      0.98      0.99       892
     Класс 6       0.99      0.99      0.99       958
     Класс 7       1.00      0.98      0.99      1028
     Класс 8       0.99      0.99      0.99       974
     Класс 9       0.99      0.99      0.99      1009
    Класс 10       0.99      0.99      0.99      1000

    accuracy                           0.99     11000
   macro avg       0.99      0.99      0.99     11000
weighted avg       0.99      0.99      0.99     11000
```

8. **Вывод неверно классифицированных изображений.**

Прогноз | реальный класс



9. **Список неверно классифицированных изображений проверочного множества. Список упорядочен по числу ошибок в классе.**

Индекс неверно классифицированного изображения | прогноз

```
Класс : 2
```

795 | 0

```
Класс : 3
```

5697 | 5

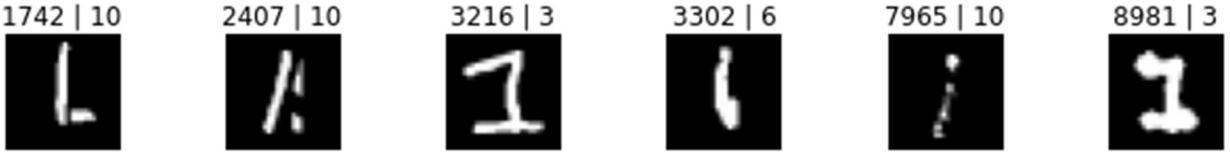
10010 | 8

Класс : 4

Класс : 0

Класс : 8

Класс : 1



Класс : 6

Класс : 10

Класс : 9

Класс : 5

Класс : 7