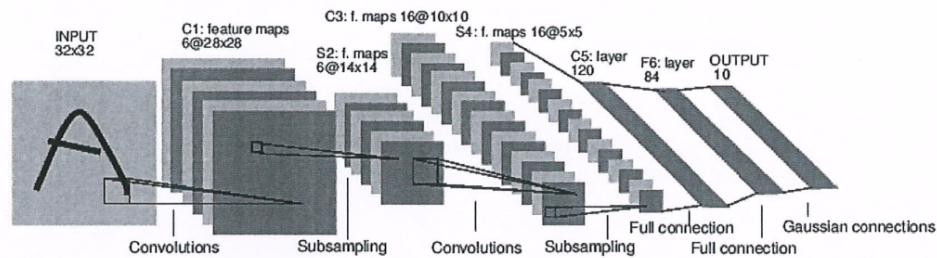


Assignment3

October 26, 2018

1. [신경망] 다음 코드를 무엇을 의미하는지 이해하고 실행하여 결과를 확인하세요.(14점) (코드의 해석과 결과의 의미를 작성하세요.)

In [1]: # *torch.nn* 패키지를 사용하여 신경망을 생성함.
nn 패키지는 모델을 정의할 때, *autograd*를 통해 자동미분 기능을 제공함
*nn.Module*은 층과 전방전파(*forward propagation*) (입력 -> 출력)을 쉽게 구현함
참고로 *nn* 패키지는 *mini-batch*만 지원함, 예로 *nn.Conv2d*는 4차 *Tensor*를 받음 (*nSamples*nChannel*)
아래 *AlexNet*(이미 수업에서 학습함.) 예시는 숫자를 분류하는 간단한 컨볼루션 신경망의 예임



In [2]: # 예시는 사진 입력을 받고, 몇 개의 층에 전방 전파하면서 분류를 출력함
출력을 위해서 모델은 다음과 같은 학습을 수행함
- 신경망은 학습가능한 매개변수들(가중치들)을 가짐
- 사진 데이터를 반복적으로 입력함
- 신경망을 통해 입력을 처리함(전방 전파)
- 손실(오차)를 계산함(실제 출력과 예측 출력을 비교하여 학습의 올바름을 판단함)
- 오차로부터 그레이디언트(경사, 방향)을 신경망의 각 매개변수에게 역전파함(오류 역전파)
- 신경망의 매개변수들을 갱신함(미래)가중치 = (현재)가중치 - 학습률 * 그레이디언트

위의 컨볼루션 신경망의 부분들을 *torch*를 통해서 손쉽게 구현할 수 있음.
단지 *forward* 함수만 정의하면, *autograd*를 이용해서
해당 연산 그래프의 그레이디언트를 구하는 *backward* 자동적으로 정의됨.
forward 함수는 *Tensor*를 이용할 수 있는 다양한 연산들(합, 곱 등등) 사용하여 정의 가능함.
torch.Tensor: 자동 미분 기능을 지원하는 다차원 배열, 각 *Tensor*에 해당하는 그레이디언트를 가짐.
nn.Module: 신경망 모듈이며 매개변수의 캡슐화, GPU 연산 등 작업을 쉽게 가능하게 함.
nn.Parameter: 모듈이 지정되면 매개변수들을 자동으로 관리하는 *Tensor*의 하나임.

```

import torch
import torch.nn as nn
import torch.nn.functional as F

class Net(nn.Module):
    def __init__(self):
        # for parent class
        super(Net, self).__init__()
        # 1 input image channel, 6 output channels, 5x5 square convolution
        # kernel(filter)
        self.conv1 = nn.Conv2d(1, 6, 5)
        # 6 input image channel, 16 output channels, 5x5 square convolution
        self.conv2 = nn.Conv2d(6, 16, 5)
        # an affine operation: y = Wx + b
        self.fc1 = nn.Linear(16 * 5 * 5, 120)
        self.fc2 = nn.Linear(120, 84)
        self.fc3 = nn.Linear(84, 10)

    def forward(self, x):
        # Max pooling over a (2, 2) window
        x = F.max_pool2d(F.relu(self.conv1(x)), (2, 2))
        # If the size is a square you can only specify a single number
        x = F.max_pool2d(F.relu(self.conv2(x)), 2)
        x = x.view(-1, self.num_flat_features(x)) # reshape in tensorflow
        x = F.relu(self.fc1(x))
        x = F.relu(self.fc2(x))
        x = self.fc3(x) # output layer
        return x

    def num_flat_features(self, x):
        size = x.size()[1:] # all dimensions except the batch dimension
        num_features = 1
        for s in size:
            num_features *= s
        return num_features

net = Net()
print(net)

# (1) 화면 출력 확인 및 의미를 서술

```

```

Net(
  (conv1): Conv2d(1, 6, kernel_size=(5, 5), stride=(1, 1))
  (conv2): Conv2d(6, 16, kernel_size=(5, 5), stride=(1, 1))
  (fc1): Linear(in_features=400, out_features=120, bias=True)

```

```
(fc2): Linear(in_features=120, out_features=84, bias=True)
(fc3): Linear(in_features=84, out_features=10, bias=True)
)
```

위의 출력은 Network 구성을 보여준다.

- convolution1(1 = input depth, output depth = 6, kernel = 5 x 5, stride=1)
- convolution2(6 = input depth, output depth = 16, kernel = 5 x 5, stride=1)
- fully-connected layer(input_node = 400, output_node=120, including=bias term)
- fully-connected layer(input_node = 120, output_node=84, including=bias term)
- fully-connected layer(input_node = 84, output_node=10, including=bias term)

물론 각 layer 마다 activation function으로 ReLU(rectified Linear unit)을 사용하는 CNN의 구조를 보여준다.(마지막 output layer에서는 activation function을 사용하지 않는다.)

In [3]: # (2) 정의된 컨볼루션 신경망의 구조 설명 (위의 *AlexNet* 그림 참고)

전체적인 구조는

- convolution1(1 = input depth, output depth = 6, kernel = 5 x 5, stride=1)
- max_pooling(convolution1) : subsampling
- convolution2(6 = input depth, output depth = 16, kernel = 5 x 5, stride=1)
- max_pooling(convolution2) : subsampling
- fully-connected layer(input_node = 400, output_node=120, including=bias term)
- fully-connected layer(input_node = 120, output_node=84, including=bias term)
- fully-connected layer(input_node = 84, output_node=10, including=bias term)

물론 각 layer 마다 activation function으로 ReLU(rectified Linear unit)을 사용하는 CNN의 구조를 보여준다.(마지막 output layer와 max pooling에서는 activation function을 사용하지 않는다.) 위와 코드는 위와 같은 구조로 구성되어진다.

```
In [4]: # net.parameters()를 사용하여 정의된 신경망의 학습가능한 매개변수들을 확인할 수 있음
        params = list(net.parameters())
        print(len(params))
        print(params[0].size()) # conv1's .weight
        # (3) 화면 출력 확인
        # 위에서 설계한 convolution network의 매개변수 수와
        # first conv layer의 weight size를 출력을 하고 있다.
```

10

```
torch.Size([6, 1, 5, 5])
```

```
In [5]: # 다음의 임의의 32*32 입력을 가정함
        # 참고로 크기가 다른 입력을 받을 때는 입력의 크기를 재조정하거나 신경망 수정함
        # 입력 이미지 크기 batch, channel, height, width
        input = torch.randn(1, 1, 32, 32)
        out = net(input)
        print(out)
        # (4)화면 출력 확인
        # 최종 10개의 class의 분류 score를 보여주고 있다.
```

```
tensor([[ 0.0792,  0.0839,  0.0333,  0.1186,  0.0759,  0.1286,  0.0476,  0.0468,
          -0.0176, -0.0583]], grad_fn=<ThAddmmBackward>)
```

In [6]: # 오류역전파를 통해 그레이디언트를 구하기 전에 모든 가중치의 그레이디언트 버퍼들을 초기화

```
net.zero_grad()
# in backward, compute gradient w.r.t torch.randn(1,10) tensor
out.backward(torch.randn(1,10))

# 손실 함수 정의 및 임의의 값들에 대해서 오차 결과 확인
# nn 패키지는 많이 사용되는 손실함수들을 제공하며, 해당 예제는 단순한 MSE를 사용
output = net(input)
target = torch.randn(10) # a dummy target, for example
print(target)
target = target.view(1, -1) # make it the same shape as output
print(target)
criterion = nn.MSELoss()
```

```
loss = criterion(output, target)
print("Checking loss value")
print(loss)
# (5) 화면 출력 확인
```

```
tensor([-0.0791, -0.1956, -2.0826,  0.5596,  2.1317,  0.2603, -0.9277,  0.2635,
          -0.2354, -0.3408])
tensor([[[-0.0791, -0.1956, -2.0826,  0.5596,  2.1317,  0.2603, -0.9277,  0.2635,
          -0.2354, -0.3408]])
Checking loss value
tensor(1.0144, grad_fn=<MseLossBackward>)
```

In [7]: # 앞에 코드에서 언급한 것과 같이 오류 역전파하기 전, 그레이디언트를 초기화해야 함
backward() 수행 후 어떤 변화가 있는지 확인하고, 초기화의 필요성을 확인함
net.zero_grad() # zeroes the gradient buffers of all parameters

```
print("conv1.bias.grad before backward")
print(net.conv1.bias.grad)
# (6) 화면 출력 확인
# 오류 역전파하기전의 conv1.bias의 gradient를 값을 보여준다.
# 오류 역전파하기전인 만큼 0의 값으로 초기화 되어진다.
```

```
conv1.bias.grad before backward
tensor([0., 0., 0., 0., 0., 0.])
```

In [8]: # loss에 기반하여 backward를 실행한다.
loss.backward()

```

print("conv1.bias.grad after backward")
print(net.conv1.bias.grad)
# (7) 화면 출력 확인
# 오류 역전파가 수행이 되면서
# conv1.bias의 gradient 값을 보여준다.

```

```

conv1.bias.grad after backward
tensor([-0.0179,  0.0043, -0.0102, -0.0074,  0.0120, -0.0005])

```

```

In [9]: # 스토캐스틱경사하강법 (미래)가중치 = (현재)가중치 - 학습률* 그레이디언트)을
# 이용하여 가중치 갱신하는 코드는 다음과 같음
learning_rate = 0.01
for f in net.parameters():
    f.data.sub_(f.grad.data * learning_rate)

# 하지만 위 구현 코드보다 실제, torch.optim에서 구현되는 SGD, Adam, RMSProp 등을 사용함
# 오류 역전파에서 최적화하는 방법을 보인 예제 코드
import torch.optim as optim

# create your optimizer
optimizer = optim.SGD(net.parameters(), lr=0.01)

# in your training loop:
optimizer.zero_grad() # zero the gradient buffers
output = net(input)
loss = criterion(output, target)
loss.backward()
optimizer.step() # Does the update

```

2. [분류기 학습] 다음 코드를 무엇을 의미하는지 이해하고 실행하여 결과를 확인하세요.(14 점)
(코드의 해석과 결과의 의미를 작성하세요.)

```

In [10]: # 1번의 기초적인 신경망을 통해서 사진 분류기를 학습함
# 데이터집합은 CIFAR-10이며, 아래의 예와 같이 10가지의 3(R, G, B) 채널의 32*32 크기의 사진으로 구성

```

```

In [11]: # CIFAR-10과 같이 많이 사용되는 데이터집합은 torchvision 패키지에서 제공함
# 분류기 학습은 다음과 같은 과정을 가짐
# 1. 정규화된 CIFAR-10 훈련집합과 테스트집합을 torchvision을 이용하여 적재함
# 2. 컨볼루션 신경망을 정의함
# 3. 손실함수 정의
# 4. 훈련집합을 이용하여 신경망을 학습시킴
# 5. 테스트집합을 이용하여 신경망 성능 확인

### 1. 정규화된 CIFAR-10 훈련집합과 테스트 집합을 torchvision을 이용하여 적재함
import torch
import torchvision
import torchvision.transforms as transforms

```



```
# transforms.Normalize function normalize a tensor image with -
# mean and standard deviation channel by channel
transform = transforms.Compose(
    [transforms.ToTensor(),
     transforms.Normalize((0.5, 0.5, 0.5), (0.5, 0.5, 0.5))])

trainset = torchvision.datasets.CIFAR10(root='./data', train=True,
                                         download=True, transform=transform)
trainloader = torch.utils.data.DataLoader(trainset, batch_size=4,
                                           shuffle=True, num_workers=2)

testset = torchvision.datasets.CIFAR10(root='./data', train=False,
                                         download=True, transform=transform)
testloader = torch.utils.data.DataLoader(testset, batch_size=4,
                                          shuffle=False, num_workers=2)

classes = ('plane', 'car', 'bird', 'cat',
           'deer', 'dog', 'frog', 'horse', 'ship', 'truck')
# (1) 화면 출력 확인
print("train set: {}".format(len(trainset)))
print("test set: {}".format(len(testset)))
```

```
Files already downloaded and verified
Files already downloaded and verified
train set: 50000
test set: 10000
```

```
In [12]: # 훈련집합의 일부 사진들 확인
```

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# functions to show an image
def imshow(img):
    img = img / 2 + 0.5     # unnormalize
    npimg = img.numpy()
    plt.imshow(np.transpose(npimg, (1, 2, 0)))

# get some random training images
dataiter = iter(trainloader)
images, labels = dataiter.next()
print("The size of image tensor:", images.size())
print("The size of label tensor:", labels.size(), labels[0])
# show images
imshow(torchvision.utils.make_grid(images))
# print labels
print(' '.join('%5s' % classes[labels[j]] for j in range(4)))
# (2) 화면 출력 확인

```

The size of image tensor: torch.Size([4, 3, 32, 32])

The size of label tensor: torch.Size([4]) tensor(5)

dog cat car horse

In [13]: ### 2. 컨볼루션 신경망을 정의함
3 채널 32*32 크기의 사진을 입력받고, 신경망을 통과해 10분류를 수행

```

import torch.nn as nn
import torch.nn.functional as F

class Net(nn.Module):
    def __init__(self):
        super(Net, self).__init__()
        self.conv1 = nn.Conv2d(3,6,5)
        self.pool = nn.MaxPool2d(2,2)
        self.conv2 = nn.Conv2d(6, 16, 5)
        self.fc1 = nn.Linear(16*5*5, 120)
        self.fc2 = nn.Linear(120, 84)
        self.fc3 = nn.Linear(84, 10)

    def forward(self, x):
        x = self.pool(F.relu(self.conv1(x)))
        x = self.pool(F.relu(self.conv2(x)))
        x = x.view(-1, 16*5*5)
        x = F.relu(self.fc1(x))
        x = F.relu(self.fc2(x))
        x = self.fc3(x)

```

```

        return x

net = Net()

### 3. 손실함수 정의, 교차 엔트로피와 SGD + Momentum
import torch.optim as optim

criterion = nn.CrossEntropyLoss()
optimizer = optim.SGD(net.parameters(), lr=0.001, momentum=0.9)

### 4. 훈련집합을 이용하여 신경망을 학습시킴
for epoch in range(2): # loop over the dataset multiple times
    running_loss = 0.0
    for i, data in enumerate(trainloader, 0):
        # Get the inputs
        inputs, labels = data

        # zero the parameter gradients
        optimizer.zero_grad()

        # Forward + Backward + Optimize
        outputs = net(inputs)
        loss = criterion(outputs, labels)
        loss.backward()
        optimizer.step()

        # print statistics
        running_loss += loss.item()
        if i % 1000 == 999: # print every 1000 mini-batches
            print("[%d, %5d]loss: %.3f" % (epoch + 1, i + 1, running_loss / 1000))
            running_loss = 0.0

print("Finished training")
# (3) 화면 출력 확인 및 학습이 되고 있는지 서술

```

```

[1, 1000]loss: 2.290
[1, 2000]loss: 2.087
[1, 3000]loss: 1.894
[1, 4000]loss: 1.828
[1, 5000]loss: 1.735
[1, 6000]loss: 1.672
[1, 7000]loss: 1.585
[1, 8000]loss: 1.554
[1, 9000]loss: 1.519
[1, 10000]loss: 1.494

```



```

[1, 11000]loss: 1.503
[1, 12000]loss: 1.441
[2, 1000]loss: 1.392
[2, 2000]loss: 1.404
[2, 3000]loss: 1.360
[2, 4000]loss: 1.334
[2, 5000]loss: 1.363
[2, 6000]loss: 1.332
[2, 7000]loss: 1.356
[2, 8000]loss: 1.318
[2, 9000]loss: 1.300
[2, 10000]loss: 1.289
[2, 11000]loss: 1.307
[2, 12000]loss: 1.280
Finished training

```

위의 loss 값을 확인해보면 점차 낮아지는 방향으로 학습이 진행이 되고 있다.

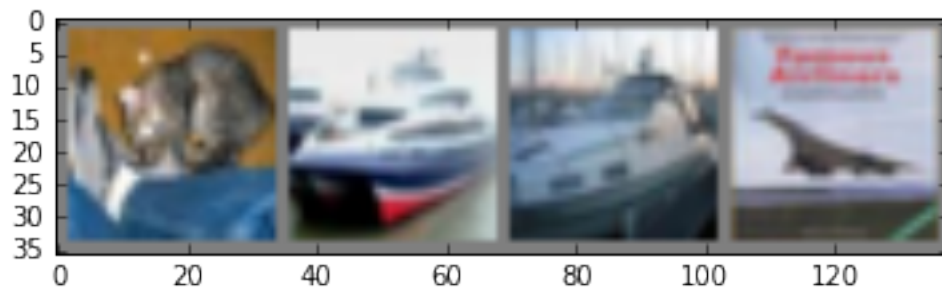
```

In [14]: ### 5. 테스트 집합을 이용하여 신경망 성능 확인
         dataiter = iter(testloader)
         images, labels = dataiter.next()

         # show images
         imshow(torchvision.utils.make_grid(images))
         # print labels
         print("GroundTruth:", ' '.join('%5s' % classes[labels[j]] for j in range(4)))
         # (4) 화면 출력 확인

```

GroundTruth: cat ship ship plane



```

In [15]: outputs = net(images)
         _, predicted = torch.max(outputs, 1)
         print("Predicted:", ' '.join('%5s' % classes[predicted[j]] for j in range(4)))
         # (5) 화면 출력 확인

```

```
# 예측된 label의 type을 출력하고 있다.
print("예측된 label의 type을 출력하고 있다. ")
```

Predicted: cat ship ship ship
 예측된 label의 type을 출력하고 있다.

```
In [16]: # Perfomance on the whole test dataset
correct = 0
total = 0
with torch.no_grad():
    for data in testloader:
        images, labels = data
        output = net(images)
        _, predicted = torch.max(output.data, 1)
        total += labels.size(0)
        correct += (predicted == labels).sum().item()

print('Accuracy of the network on the 10000 test images: %d %%' % (100 * correct/total))
# (6) 화면 출력 확인 및 일반화 성능 서술
```

Accuracy of the network on the 10000 test images: 53 %

위의 결과를 보면 알 수 있듯 일반화 성능은 testset을 가지고 나타낼 수 있는데 이것은 training을 할 때 사용하지 않은 데이터를 가지고 나의 모델이 training되지 않은 데이터를 얼마나 잘 예측을 할 수 있는지 수치를 정확도로 판단하는데 현재 모델은 정확도 (accuracy) 53%를 보여준다.

```
In [17]: # Performance on each class
class_correct = list(0. for i in range(10))
class_total = list(0. for i in range(10))
print("The initial class_correct:", class_correct)
print("The initial class_total:", class_total)
with torch.no_grad():
    for data in testloader:
        images, labels = data
        outputs = net(images)
        _, predicted = torch.max(output, 1)
        c = (predicted == labels).squeeze()
        for i in range(4):
            label = labels[i]
            class_correct[label] += c[i].item()
            class_total[label] += 1

for i in range(10):
    print('Accuracty of %5s: %2d %%' % (
        classes[i], 100* class_correct[i]/class_total[i]))
# (7) 화면 출력 확인 및 부류별 분류기의 성능 서술
```

```

The initial class_correct: [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]
The initial class_total: [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]
Accuracty of plane: 0 %
Accuracty of car: 0 %
Accuracty of bird: 0 %
Accuracty of cat: 24 %
Accuracty of deer: 25 %
Accuracty of dog: 25 %
Accuracty of frog: 0 %
Accuracty of horse: 25 %
Accuracty of ship: 0 %
Accuracty of truck: 0 %

```

위의 결과는 10개의 class 마다의 recall이 얼마나 잘된 결과인지를 보여준다. 우선 출력 결과를 보면, car(24%), dog(25%), horse(25%)의 recall을 보여주고 나머지의 경우는 0%의 recall을 보여주고 있습니다.

3. 다음 조건을 만족하는 컨볼루션 신경망을 구현하고, 2번의 (3), (6), (7)의 결과를 확인하고 비교하세요.

- (1) INPUT-CONV(32 3*3)-CONV(32 3*3)-RELU-POOL-CONV(32 3*3)-CONV(32 3*3)-RELU-POOL-FC-OUTPUT(15점)
- (2) 2번 문제의 신경망에 Adam 최적화(강의자료의 기본 하이퍼 매개변수 사용) 적용(3점)
- (3) 데이터 확대 방법들 중 하나를 적용한 후, 2번 문제의 신경망 학습(Hint: transforms) (3점)
- (4) 2번 문제의 신경망에 CONV 층마다 배치 정규화를 적교(Hint: nn.BatchNorm) (3점)
- (5) 2번 문제의 신경망에 로그우드 손실함수를 적 (3점)
- (6) 2번 문제의 신경망에 L2 Norm 적용(3점)

In [18]: *### 1. 정규화된 CIFAR-10 훈련집합과 테스트 집합을 torchvision을 이용하여 적재함*

```

import torch
import torchvision
import torchvision.transforms as transforms

# transforms.Normalize function normalize a tensor image with -
# mean and standard deviation channel by channel
# (3) 데이터 확대 방법들 중 하나를 적용한 후, 2번 문제의 신경망 학습(Hint: transforms) (3점)
transform = transforms.Compose(
    [transforms.Resize(128),
     transforms.CenterCrop(32),
     transforms.ToTensor(),
     transforms.Normalize((0.5, 0.5, 0.5), (0.5, 0.5, 0.5))])

trainset = torchvision.datasets.CIFAR10(root='./data', train=True,

```

```

download=True, transform=transform)
trainloader = torch.utils.data.DataLoader(trainset, batch_size=4,
                                           shuffle=True, num_workers=2)

testset = torchvision.datasets.CIFAR10(root='./data', train=False,
                                       download=True, transform=transform)
testloader = torch.utils.data.DataLoader(testset, batch_size=4,
                                          shuffle=False, num_workers=2)

classes = ('plane', 'car', 'bird', 'cat',
           'deer', 'dog', 'frog', 'horse', 'ship', 'truck')
# (1) 화면 출력 확인
print("train set: {}".format(len(trainset)))
print("test set: {}".format(len(testset)))

### 2. 컨볼루션 신경망을 정의함
# 3 채널 32*32 크기의 사진을 입력받고, 신경망을 통과해 10분류를 수행
import torch.nn as nn
import torch.nn.functional as F

# (1) INPUT-CONV(32 3*3)-CONV(32 3*3)-RELU-POOL-
# CONV(32 3*3)-CONV(32 3*3)-RELU-POOL-FC-OUTPUT(15점)
class Net2(nn.Module):
    def __init__(self):
        super(Net2, self).__init__()
        self.conv1 = nn.Conv2d(3, 32, 3)
        # (4) 2번 문제의 신경망에 CONV 층마다 배치 정규화를 적고 (Hint: nn.BatchNorm) (3점)
        self.batch_norm1 = nn.BatchNorm2d(32)
        self.conv2 = nn.Conv2d(32, 32, 3)
        self.pool1 = nn.MaxPool2d(2, 2)
        self.batch_norm2 = nn.BatchNorm2d(32)
        self.conv3 = nn.Conv2d(32, 32, 3)
        self.batch_norm3 = nn.BatchNorm2d(32)
        self.conv4 = nn.Conv2d(32, 32, 3)
        self.pool2 = nn.MaxPool2d(2, 2)
        self.fc1 = nn.Linear(32*5*5, 10)

    def forward(self, x):
        x = self.conv1(x)
        #print(x.size())
        x = self.batch_norm1(x)
        #print(x.size())
        x = self.pool1(F.relu(self.conv2(x)))
        #print(x.size())
        x = self.batch_norm2(x)
        x = self.conv3(x)
        x = self.batch_norm3(x)
        #print(x.size())

```

```

        x = self.pool2(F.relu(self.conv4(x)))
        #print(x.size())
        x = x.view(-1, 32*5*5)
        x = self.fc1(x)
        return x

net = Net2()

### 3. 손실함수 정의, Loglikelihood + Adam
import torch.optim as optim

# (2) 2번 문제의 신경망에 Adam 최적화(강의자료의 기본 하이퍼 매개변수 사용) 적용 (3점)
# (6) 2번 문제의 신경망에 L2 Norm 적용 (3점) - weight_decay=1e-05
optimizer = optim.Adam(net.parameters(), lr = 0.001, betas=(0.9, 0.999), weight_decay=1e-05)

### 4. 훈련집합을 이용하여 신경망을 학습시킴
for epoch in range(2): # loop over the dataset multiple times
    running_loss = 0.0
    for i, data in enumerate(trainloader, 0):
        # Get the inputs
        inputs, labels = data
        if i == 0 and epoch == 0:
            print("The size of inputs tensor:", inputs.size())
            print("The size of labels tensor:", labels.size())
        # zero the parameter gradients
        optimizer.zero_grad()

        # Forward + Backward + Optimize
        outputs = net(inputs)
        # 2번 문제의 신경망에 로그우드 손실함수를 적 (3점)
        loss = F.nll_loss(F.log_softmax(outputs), labels)
        loss.backward()
        optimizer.step()

    # print statistics
    running_loss += loss.item()
    if i % 1000 == 999: # print every 1000 mini-batches
        print("[%d, %5d]loss: %.3f" % (epoch + 1, i + 1, running_loss / 1000))
        running_loss = 0.0

print("Finished training")

```

Files already downloaded and verified
Files already downloaded and verified
train set: 50000
test set: 10000

```
The size of inputs tensor: torch.Size([4, 3, 32, 32])
The size of labels tensor: torch.Size([4])
```

```
/home/hyunyoung2/.local/lib/python3.5/site-packages/ipykernel_launcher.py:95: UserWarning: Imp
```

```
[1, 1000]loss: 2.231
[1, 2000]loss: 2.161
[1, 3000]loss: 2.112
[1, 4000]loss: 2.077
[1, 5000]loss: 2.058
[1, 6000]loss: 2.029
[1, 7000]loss: 2.035
[1, 8000]loss: 2.036
[1, 9000]loss: 2.017
[1, 10000]loss: 1.999
[1, 11000]loss: 2.009
[1, 12000]loss: 2.002
[2, 1000]loss: 1.964
[2, 2000]loss: 1.986
[2, 3000]loss: 1.965
[2, 4000]loss: 1.959
[2, 5000]loss: 1.960
[2, 6000]loss: 1.957
[2, 7000]loss: 1.941
[2, 8000]loss: 1.943
[2, 9000]loss: 1.951
[2, 10000]loss: 1.914
[2, 11000]loss: 1.926
[2, 12000]loss: 1.911
Finished training
```

4. 신경망의 출력이 (0.4, 2.0, 0.001, 0.32).T 일 때, 소프트 맥스 함수를 적용한 결과를 쓰시오. (6점)

```
In [19]: import numpy as np
```

```
output = np.array([0.4, 2.0, 0.001, 0.32])
#print(output)

def print_softmax(e):
    print("The softmax of each rows")
    for i in range(len(e)):
        print(i, e[i])

    print("The total of softmax: {}".format(np.sum(e)))
```

```
def softmax_funtion(x):
    exp = np.exp(output)
    #print(exp)
    softmax_val = exp / np.sum(exp)
    print_softmax(softmax_val)

softmax_funtion(output)
```

The softmax of each rows

```
0 0.13250053264446765
1 0.6562794344376716
2 0.08890662532881649
3 0.12231340758904413
```

The total of softmax: 0.9999999999999998

5. 소프트맥스 함수를 적용한 후 출력이 (0.001, 0.9, 0.001, 0.098).T 이고 레이블 정보가 (0, 0, 0, 1).T 일때, 세 가지 목적함수, 평균제곱 오차, 교차 엔트로피, 로그우드를 계산하시오.

In [20]: `import numpy as np`

```
output = np.array([0.001, 0.9, 0.001, 0.098])
```

```
ground_truth = np.array([0, 0, 0, 1])
```

```
def mean_squared_error(out, truth):
    error = np.mean((out - truth)**2)
    return error
```

```
def cross_entropy(out, truth):
    error = truth*np.log(output)
    return np.sum(error)
```

```
def loglikelihood(out, index, base=True):
    if base == True: # base 2
        error = np.log2(out[index])
    else: # base e
        error = np.log(out[index])
    return error
```

```
print("MSE(mean squared error): {}".format(mean_squared_error(output, ground_truth)))
print()
print("cross_entropy: {}".format(mean_squared_error(output, ground_truth)))
print()
print("loglikelihood: {}".format(mean_squared_error(output, 3)))
```

MSE(mean squared error): 0.4059015

cross_entropy: 0.4059015

loglikelihood: 7.7049015