

# Homework1 报告

日期: 2023 年 04 月 09 日

姓名: 陈天悦 学号: 22210980031

## 1 任务分析

### 1.1 数据集分析

MNIST 手写数字数据集是一个经典的多分类问题, 通过神经网络可以很好的实现手写字体的识别。MNIST 数据集来自 National Institute of Standards and Technology, 训练集由来自 250 个不同人手写的数字构成, 其中 50% 是高中学生, 50% 来自人口普查局的工作人员, 测试集也是同样比例的手写数字数据, 但保证了测试集和训练集的作者集不相交。

MNIST 数据集一共有 7 万张图片, 其中 6 万张是训练集, 1 万张是测试集。每张图片是  $28 \times 28$  的 0-9 的手写数字图片组成。每个图片是黑底白字的形式, 黑底用 0 表示, 白字用 0-1 之间的浮点数表示, 越接近 1, 颜色越白。

### 1.2 神经网络分类任务

神经网络通常被用于数据的特征提取, 并通过多层神经元的连接, 最后进行数据的分类。本次任务中, 由于数据量小, 使用 MLP (多层感知机), 通过梯度回传训练, 即可进行对于 MNIST 数据集的分类。

## 2 网络设计

使用 numpy 构建一个两层神经网络分类器并进行训练, 我们需要计算每层的梯度。在此任务中, 采用激活函数 ReLU 进行网络构建, 并通过交叉熵损失函数进行损失计算和梯度回传。

### 2.1 激活函数

神经网络通常通过矩阵乘法进行线性计算, 通过激活函数引入非线性, 本次采用 ReLU 作为激活函数:

$$\text{ReLU}(z) = \begin{cases} z & z > 0 \\ 0 & z \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

### 2.2 梯度计算

本次使用的两层全连接层是一种线性结构, 可以通过公式表示为:

$$f(X) = WX + b \quad (2)$$

其中  $W$  表示神经元权重,  $X$  表述输入数据,  $f(X)$  表示输出值。

梯度求解可以表示为:

$$\nabla f(w_1, w_2, w_3) = (\partial f / (\partial w_1), \partial f / (\partial w_2), \partial f / (\partial w_3)) \quad (3)$$

## 2.3 交叉熵损失函数

本任务是经典的多分类问题，我们采用多分类的交叉熵损失函数进行计算：

$$-\sum_{c=1}^M y_{o,c} \log(p_{o,c}) \quad (4)$$

## 3 参数查找

### 3.1 参数搜索空间

在这个项目中，我们在超参数方面的探索主要是搜索隐藏层的神经元个数，学习率和 l2 正则化参数。具体搜索空间如下表：

表 1: 参数搜索空间

	Search space
Hidden	64, 128, 256, 512 1024
Learning rate	0.0001, 0.0005 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1
L2 regular	0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1

### 3.2 搜索结果

通过实验遍历了以上搜索空间的所有组合，最后确定在隐藏层神经元个数为 512，学习率为 0.005，L2 正则化参数为 0.005 时训练效果最优。

## 4 实验结果

在最优超参数组合下进行训练，得到的训练过程的中间结果和最后的参数可视化如下：

## 4.1 损失函数曲线

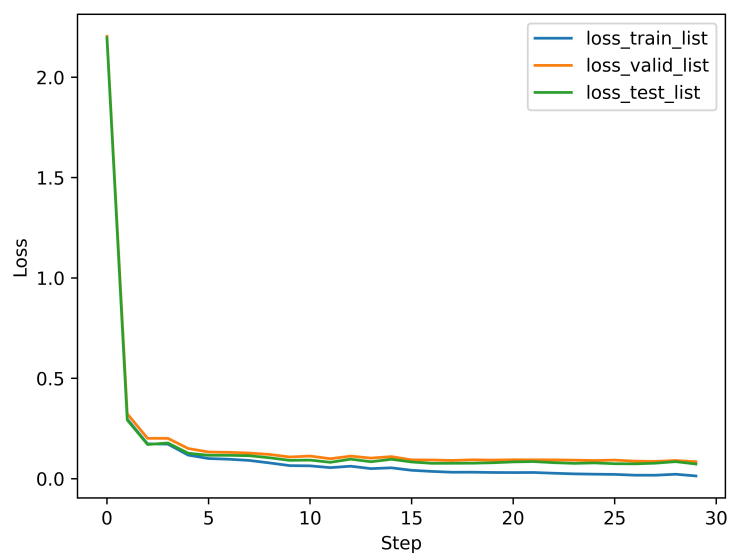


图 1: 训练损失曲线

通过损失函数曲线可以发现，训练在 5 轮之后逐渐收敛，模型在训练集、验证集和测试集上的表现也都趋于相同，模型的性能也比较稳定。

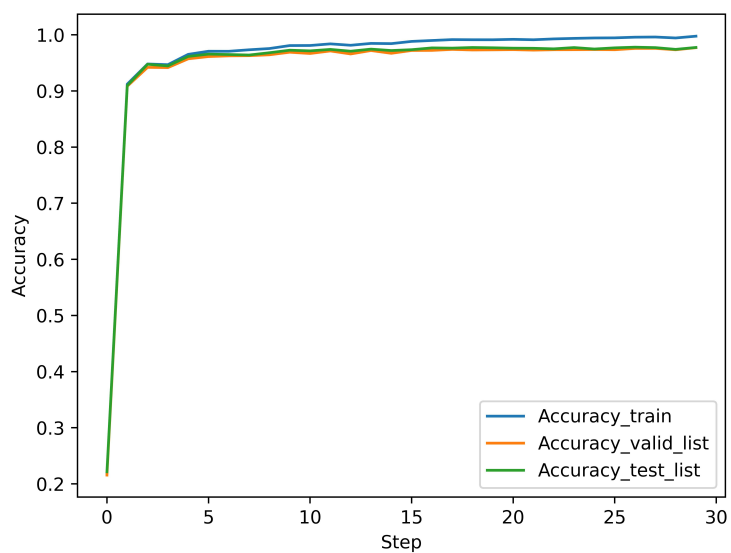


图 2: 训练准确率曲线

准确率和损失函数呈现出相同的变化趋势，都是在 5 轮之后逐渐收敛，同时，在训练集、验证集、测试集上的表现也比较统一。

## 4.2 参数可视化

以下给出了两层神经网络每层神经元的偏差和权重的直方图展示。

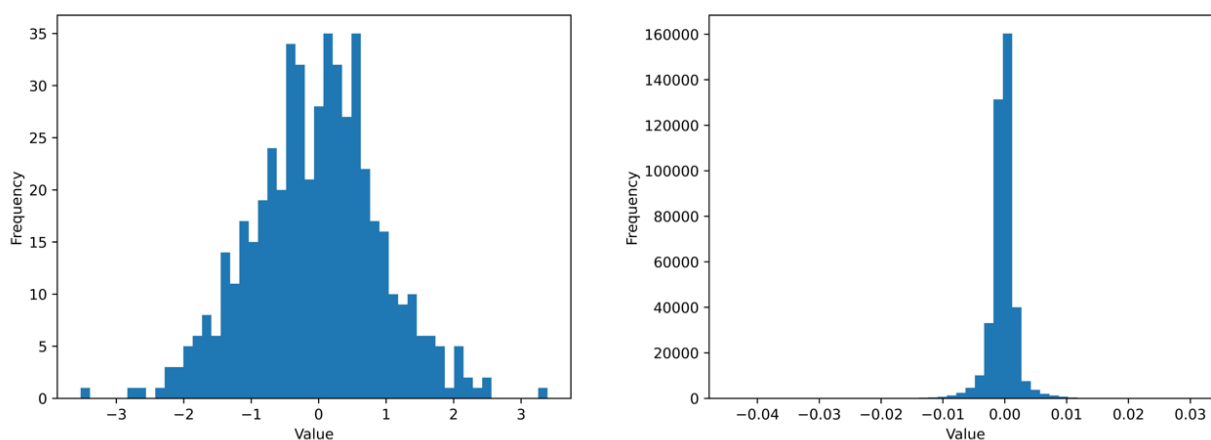


图 3: 第一层神经网络的偏差和权重直方图

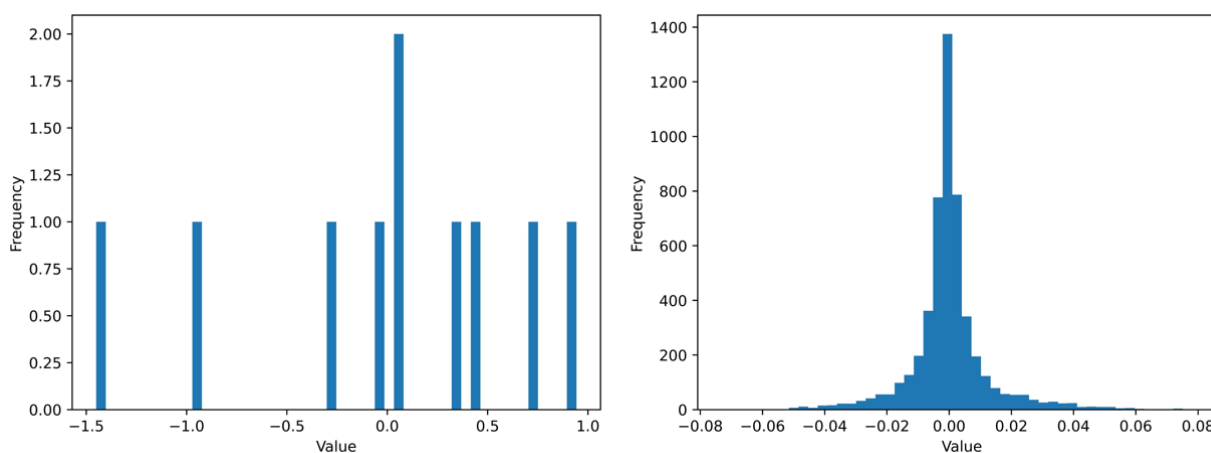


图 4: 第二层神经网络的偏差和权重直方图

从图中我们可以看出：不同网络层的权重分布比较相似，而偏差分布相异。

## 5 步骤说明

训练：运行 train.py

测试：运行 test.py

可视化：运行 draw.py

Github 链接：<https://github.com/tubao3104/DATA620004>

百度网盘地址：链接：[https://pan.baidu.com/s/1aXATR4zNMzq1aXyeLM\\_oDQ](https://pan.baidu.com/s/1aXATR4zNMzq1aXyeLM_oDQ) 提取码：71pj