# 论文阅读报告

撰写人：19212010023 杜清华

1. **论文题目及来源**

题目：Understanding and Utilizing Deep Neural Networks Trained with Noisy Labels

作者：Pengfei Chen Benben Liao Guangyong Chen Shengyu Zhang

来源：International Conference on Machine Learning 2019

1. **论文概述**

噪声标签在现实世界的数据集中是无处不在的，但是深度神经网络（DNN）通常具有很高的能力来记住噪声标签，因此在论文中提出了在噪声标签的干扰下如何强健地训练DNN。在论文中，作者发现可以根据数据集中的噪声比来对测试精度进行定量表征，特别是在对称噪声的情况下，测试精度是噪声比的二次函数。根据文中作者的分析，作者将交叉验证相关方法应用于噪声数据集，该方法可识别数据集中大多数的具有正确标签的样本。然后采用Co-teaching策略，该策略可以充分利用已识别的样本来针对噪声标签对DNN进行鲁棒性训练。与当前的一些最新方法相比，作者的策略在一定程度上提高了DNN在合成和真实训练噪声下的泛化性能。

1. **研究的问题及目标**

**3.1 问题研究背景**

DNN在监督学习任务上结果的准确性在很大程度上需要大量带有准确标签的训练样本，然而正确标记大量数据的成本太高，因此不可避免的会使用含有一定噪声标签的数据。带有太多噪声标签的训练会降低DNN的泛化性能，因为网络很容易在损坏的标签上过度拟合。

引出问题1：如何利用大量的噪声数据了解噪声标签如何影响DNN的训练和泛化。

针对噪声标签的处理，目前已经提出几种方法，一种是专注于估计噪声转换矩阵并相应的校正目标函数，例如Patrini等人在2017年提出的向前或向后校正方法、Goldberger和Ben-Reuven提出的S-模型等，但是估计噪声矩阵相对困难不易实现。另一种方法是对选定或加权的样本进行训练，例如Malach和Shalev-Shwartz在2017年提出的解耦方法，但是问题是需要设计一个可靠且令人信服的选定或加权样本的标准。还有一种方法是使用DNN的预测来校正标签，例如Tanaka等人在2018提出的Joint Optimization，Ma等人在2018年提出的D2L，但是这些方法容易受过拟合的影响。

引出问题2：如何处理数据的噪声标签或者说如何在有噪声标签的情况下使训练的DNN具有一定的鲁棒性。

Zhang 等人在2017的实验中证明了DNN具有很高的适应随机标签的能力，但是泛化误差较大，同时也发现了泛化误差与噪声比之间存在正相关，这意味着DNN 确实从噪声数据中得到了一些信息，然而仍无法定量的表明其中关系。

引出问题3：如何定量的描述泛化误差与标签噪声的关系，根据发现的定量关系如何去训练具有一定抗噪声性的DNN。

**3.2 问题研究目标**

针对上面所引出的问题，主要需要解决的问题包含如下：

1. 在理论上将DNN的泛化性能与噪声相关联
2. 定量的阐明使用噪声标签训练的DNN 的泛化性能；
3. 开发一种针对噪声标签训练DNN的特定实用算法。
4. **研究的方法**

**4.1 相关表示**

①c-分类数据集，其中是第t个样本，其观察到的标签为，y表示真实标签。

② 噪声转换矩阵来描述数据集的破坏过程，其中 表示将第类样本被标记为的概率。

③表示由参数化的神经网络，而表示由网络给出的的预测标签。

**4.2 命题声明**

Zhang等人在2017发现在处理带有噪声标签的DNN时， = y可能不会在每个测试样例x上评估时保持不变，也就是说会有较大的泛化误差。然而作者发现泛化在某种分布仍然有意义上，即分布的泛化，该断言如下所示：

**断言1：**

网络在上训练并在上测试，如果我们假设

1. 观察到的输入样例x在集合D中独立同分布
2. 具有足够高的容量

则在上，预测第类测试样本为j的概率为

(1)

其中 表示和共享的噪声转换矩阵。

该断言表明预测和真实的测试标签y具有相同的分布。

**命题1：**

令和为两个具有相同噪声转换矩阵T的数据集，为在上训练并在上进行测试的网络。根据断言中的假设，对于任意类别的测试精度为

(2)

证明：该命题是基于上述断言提出的，因为和y具有以T为特征的相同分布。假设标签损坏过程是独立的，那么在测试集上有

(3)

因此公式(2)遵从于

因为论文中涉及到有关对称噪声与非对称噪声这两种噪声类型，所以作者对其进行了有关的定义：

**定义1：**

对于比率为，的对称噪声的情况下，定义，并且 。

对于比率为，的非对称噪声的情况下，定义，对于某些定义，否则定义。

作者在文章中提出，在对称和非对称噪声的情况下可以使用噪声比 量化DNN的测试精度，这些DNN分别在前面提到的噪声数据集和上进行训练和测试。结合命题1到以下推论：

**推论1.1：**

对于比率为的对称噪声，测试精度为

(4)

对于比率为的非对称噪声，测试精度为

(5)

证明：根据命题1有

对于对称和非对称噪声，，是由给出的常数。因此，通过将代入等式，即可得到所需的结果。

需要注意的是，利用上述的等式（4）能够根据实验测试的准确性估算数据集的噪声比。

**4.3 方法提出及算法设计**

在论文中所开发的方法是在Co-teaching的基础上开发的，在之前的实验中发现，当训练集的噪声比增加时，Co-teaching的性能会严重下降并变得不稳定，为了解决这个问题，论文中选择一个样本子集，该子集的噪声比将会比原始数据集小得多。

如果样本（x，y）的观察标记y等于给出的预测标记，那么可以将其识别为干净的。为了获取一个干净的样本子集作为训练数据集，因此提出噪声交叉验证（NCV）方法。

|  |
| --- |
| 算法1：嘈杂的交叉验证（NCV）：从嘈杂的样本中选择干净的样本 |
| 输入：噪声数据集D，训练周期E  1：S=，初始化网络  2：将D随机分为两等分和  3：在数据集上训练，周期为E  4：选择样本，满足  5：重新初始化网络  6: 在数据集上训练，迭代周期为E  7：选择样本，满足  8:  输出：选定的集合S |

论文中使用Label Precision（LP）和Label Recall（LR）证明算法的有效性。代表中纯净样品的比例，而代表S的纯净样品的占中所有纯净样品的比例。因此可以表示为

**命题2：**

使用算法1去选择干净的样本，那么，有

（8）

由于,公式(8)又可以推出

(9)

上面的公式(9),对于对称噪声得到了不等式(9)的上界，对于非对称噪声不等式(9)的下界。同时在对称和非对称噪声的情况下，还有 。因此可以重新构造LP和LR，

对于对称噪声比，有

, （10）

对于非对称噪声比，有

, （11）

根据LP的定义，所选子集S的噪声比为。 在实际情况下（，在中最大，j∈[c]），算法1始终会产生一个噪声比 <较小的子集。

**4.4 算法改进**

虽然由算法1选择的子集通常具有比原始集合小的噪声比，但是对于DNN来说，其鲁棒性训练可能需要更多的训练样本。为了解决此问题，论文改进算法1并提出了算法2——迭代噪声交叉验证（INCV）方法，该方法可以通过应用算法1迭代增加选择的样本数。除了选择干净的样本外，INCC还会删除每次迭代中分类交叉熵损失较大的样本，去除率r决定将去除多少样品。

|  |
| --- |
| 算法2：迭代噪声交叉验证（INCV）：从噪声样本中选择干净的样本 |
| 输入：噪声数据集D，迭代次数N，训练周期E，去除率r  1：S=，设置候选集C=D  2：for i=1,..,N do  3： 初始化网络  4： 将C随机分为两等分和  5： 在数据集上训练，周期为E  6： 选择样本，满足  7: 确定将被移除的样本：  8： 如果i=1，使用公式(4)估计噪声比  9: 重新初始化网络  10： 在数据集上训练，周期为E  11： 选择样本，满足  12: 确定将被移除的样本：  13：  ,  14:end for  输出：选定的集合S,剩余候选集C，估计噪声比 |

在使用算法2详细剖析了嘈杂的数据集D后，可以进一步改善Co-teaching，以充分利用所选集S和候选集C的优势。 具体来说，让这两个网络在第一个周期集中于所选集合S，然后合并候选集合C。因此训练稳定性和测试准确性均得到改善。针对噪声标签训练DNN的鲁棒性算法如下所示。

|  |
| --- |
| 算法3：针对噪声标签训练DNN 的鲁棒性 |
| 输入：选择数据集S，候选数据集C和来自算法2的估计噪声比。预热周期，总周期  1：初始化两个网络和  2：for e=1,…, do  3： for batches() in (S,C) do  4： if then ,else  5：  6:  7： 使用更新  8: 使用更新  9: end for  10: end for  输出：*和* |

1. **研究的实验及结果**

实验过程主要包括三个部分。 首先通过实验验证了前面的断言及相关命题。 然后，演示算法2中的INCV方法，证明该方法可以识别更多具有正确标签的样品。 最后，证明算法3的可靠性，该方法可以针对噪声标签训练DNN的鲁棒性，并且优于目前最新方法。

**5.1 实验准备**

1.数据集：（1）CIFAR-10数据集 （2）WebVision数据集

2.数据处理:对CIFAR-10中的原始标签随机破坏产生合成噪声标签，其中主要包含两种代表性的噪声类型：对称噪声和非对称噪声。实验使用WebVision数据集验证在真实噪声标签上的方法，该数据集包含从网站抓取的240万幅图像。WebVision的训练集包含许多没有人为注释的真实噪声标签。

**5.2 实验过程**

**实验一. 使用噪声标签训练DNN**

在理论上通过以下指标来表征使用噪声标签训练的DNN：①等式(4)(5)给出的测试准确性。②等式(10)(11)给出的LP。③等式(10)(11)中给出的LR。在本次实验中评估了这三个指标，并通过实验结果证明了之前的理论分析。

在给定嘈杂的数据集D上，作者通过交叉验证将D随机分为两半，，然后在上训练网络ResNet-110并在上进行测试。

实验结果如下图所示：

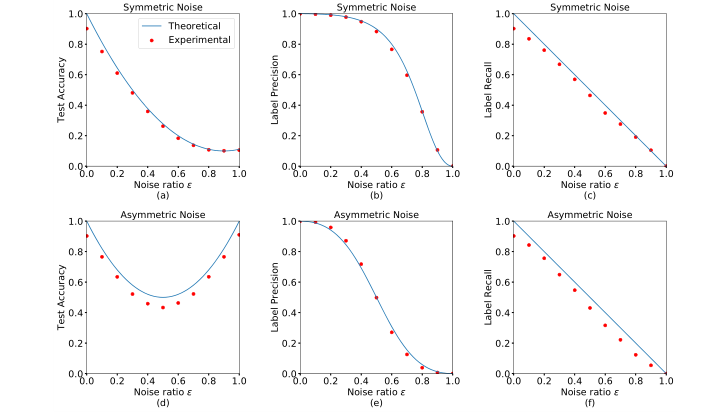


图1. 实验一噪声率关系图

图1是是关于实验一中相关指标的图示。其中包含测试精度，标签精度（LP）和标签召回率（LR）分别与噪声比的关系。第一行对应对称噪声，第二行对应非对称噪声。实验结果与理论估计一致，特别是，图1(a)显示出测试精度高度依赖于噪声比，论文在式(4)中明确表示——测试精度是噪声比的二次函数。 在图1(b)和(e)中，实验LP由我们的公式精确给出，LR类似。实验结果基本与理论曲线吻合。

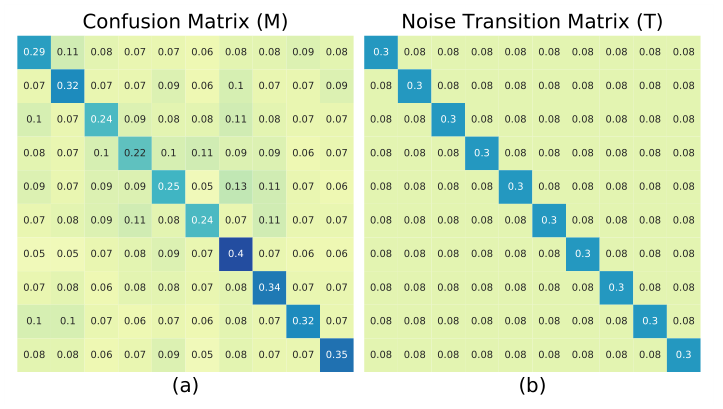


图2. RseNet-110混淆矩阵(M)以及噪声转换矩阵(T)

为了进一步研究使用噪声标签训练的DNN的预测行为，我们定义了一个混淆矩阵M，其第个条目表示预测第i类测试样本为j的概率，

图2展示了在对称噪声比为0.7的CIFAR-10上训练的DNN的混淆矩阵，可以发现M≈T满足断言1中的陈述。

**实验二. 使用INCV鉴定干净的样本**

图1（b）和（e）验证了算法1选择的子集通常具有比原始设置小的噪声比。 有时，训练DNN需要大量训练样本。这次实验演示了算法2（INCV）可以通过迭代识别更多干净的样本。为了提高效率，实验使用ResNet-32并设置N=4，E=50而不进行微调。所有实验中是使用公式（4）自动估算的。

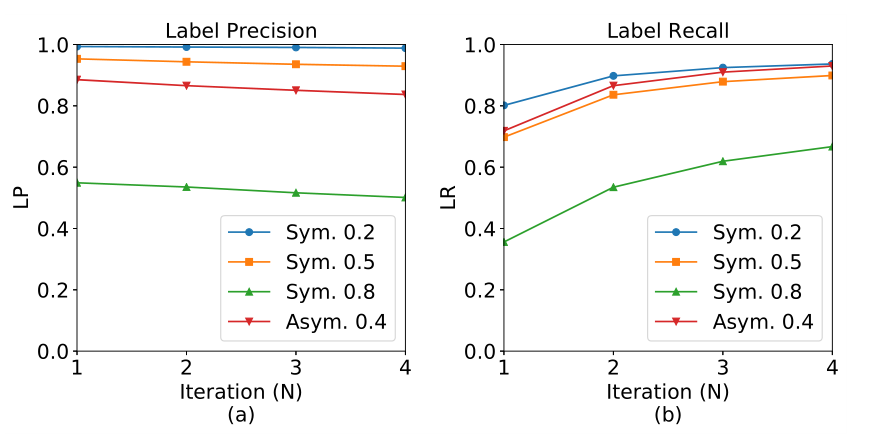


图3. 人工噪声CIFAR-10数据集上INCV的LP和LR

在每个图中，四个曲线分别对应于比率为0.2、0.5、0.8的对称噪声和比率为0.4的非对称噪声。

INCV可以准确识别大多数干净样品。图3展示出了算法2通过重复实验5次计算的平均LP和LR值。如图所示，即使经过一次迭代，LP和LR也比理论下限更好。与实验一使用的ResNet-110相比，本次实验使用较为简单的ResNet-32。一个简单得多的模型自然会消除过拟合问题，从而产生更好的LP和LR。 此外，图4还表明LR随着迭代的增加而大大增加，而LP则略有下降。 经过四次迭代，INCV可以准确识别出大多数干净的样品。在比率为0.5的对称噪声下，它将选择大约90％（LR）的干净样本，并且所选集合的噪声比率会降低到大约10％（1-LP）。

**实验三. 针对噪声标签训练DNN的鲁棒性**

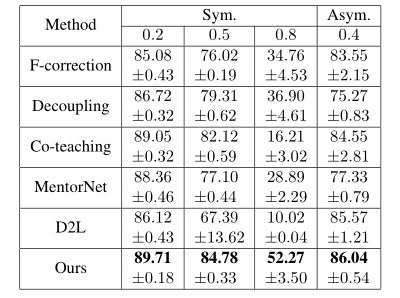
本次实验是在算法三的基础上进行的，算法中的数据处理等步骤在实验里的具体处理作如下说明：

合理的设置从数据集C和S提取的小批次数据 和。但是，当C很大时，会导致从C提取太多样本，这会损害训练过程，因为C通常包含许多损坏的样本。因此可以通过设置来稍微调整策略。在本次实验中设置批次大小到128，然后相应地计算。

每个小批量样品中应保留的样品数是这样计算的：在每个小批量中使用训练损失较小的#n（e）个样本来更新网络，其中e是当前周期。设置, 这意味着实验是在前10个周期线性地从中减去n(e)到, 然后再去调整。同时，为了证明实验的效果，本次实验还和当前比较流行的算法进行效果比较，其中比较的算法包含：(1) F-校正 (2)解耦 (3)Co-teaching (4)MentorNet (5)D2L。

首先通过在数据集CIFAR-10上手动制造带有不同类型噪声的标签来评估所有方法。对于对称噪声，我们设置测试噪声比为0.2，0.5和0.8。 对于非对称噪声，我们设置噪声比0.4，因为大于0.5的非对称噪声是微不足道的。实验仍使用ResNet-32并将所有实验重复五次。

表1.在不同噪声类型和噪声比下的平均测试准确度



如表1所示，在所有情况下，算法3的方法始终可以达到最佳测试精度（以黑体字标出）。即使对于大多数方法都具有挑战性的比率为0.8的对称噪声，算法3也可以达到良好的测试精度。

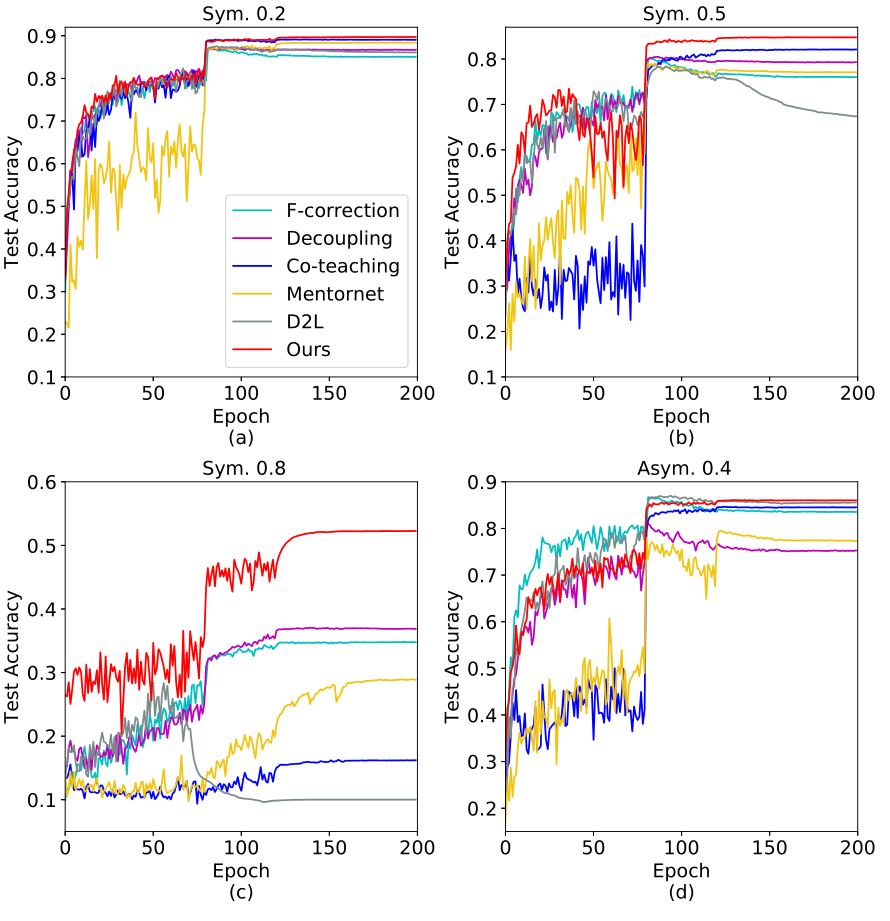
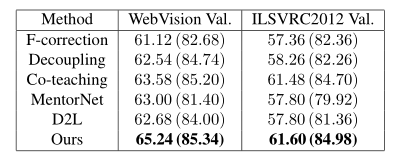


图4.在不同的噪音类型和噪音比率下的测试精度图

图4展示了在每个训练时期之后，在干净测试集上所有方法的测试准确性。可以发现，算法3在所有设置下都能令人印象深刻地达到最佳测试精度，而某些其他方法在训练的后期阶段会过度拟合，例如图4（b）和（d）中所示的F校正，去耦和MentorNet。

表2. WebVision验证集和ImageNet ILSVRC12验证集的验证准确性



为了验证算法3在实际嘈杂标签上的实际用法，作者使用了WebVision数据集1.0，其训练集包含许多真实世界的嘈杂标签。由于数据集很大，为了进行快速实验，实验使用Inception-Resnet v2比较了Google图像子集的前50个类的所有方法。实验在人工注释的WebVision验证集和ILSVRC12验证集上测试训练后的模型。如表2所示，在测试准确性方面，算法3始终优于其他最新技术。

1. **研究结论**

这篇论文首先通过针对噪声标签训练的DNN的泛化提出了一些发现，然后通过理论分析和广泛的实验证明论文中陈述的正确性。 作者根据自己的发现提出了INCV方法，该方法将噪声数据集随机划分，然后利用交叉验证来识别干净的样本。 本文为INCV提供了理论上的保证，然后通过实验证明它能够准确识别大多数清洁样品。最后采用提出的算法3利用已识别的样本来针对噪声标签对DNN进行鲁棒性训练。 通过与较多的其他方法进行比较，证明了算法3在干净的测试数据上达到了最新的测试精度。

1. **阅读收获**

在机器学习领域中，常见的一类工作是使用带标签数据训练神经网络实现分类、回归或其他目的。在这种需要标签的监督学习中，训练数据所对应的标签质量对于学习效果至关重要。同时，深度学习使用的神经网络往往结构复杂，为了得到良好的学习效果，对于带标签的训练数据的数量也有较高要求。特别是对于深层神经网络(DNN)，一旦标签出现较多噪声，则训练很容易导致模型无法准确的进行泛化预测。

作者针对此问题提出了本篇论文中的几个观点，那就是噪声率与DNN泛化关系之间是存在某种二次函数关系，然后作者针对此情况提出了INCV算法去识别筛选噪声标签小的数据集，并最后提出了提高DNN训练鲁棒性的算法，最后通过实验证明其理论和算法的正确性。

从该篇论文中，可以看出作者在写这篇文章的逻辑性，从发现问题到提出理论观点再到实验证明，相关部分都是紧紧呼应，在这种严谨的证明和思考方式值得学习。对于作者在论文中所提出针对DNN在噪声标签下的训练方法，也是相对于当前比较现实的问题入手。但是在实验过程中所训练的DNN网络相对单一，而且训练数据的噪声是人工形成的，显得相对缺乏说服力，不过最后作者也在通过在真实噪声下的实验结果证明算法的可靠性。