

机器学习工程师纳米学位项目报告

猫狗大战

刘佳业

2018 年 05 月 15 日

1、问题定义

1.1、项目概述

这是一个图像识别的项目，识别图像中的物体是猫或者是狗（图片中会有许多其他各种物品，但我们只关心其中的猫或者狗），因此，这是一个二分类问题。

该项目源自于 Kaggle 平台的一个娱乐竞赛项目，因此训练集图片，测试集图片，皆由 Kaggle 提供，分类结果的评判标准也是以 Kaggle 平台为准。

本项目将使用卷积神经网络（CNN）作为基础模型，搭建一个具有学习能力的深度学习网络，对输入的训练集图片进行学习及调参，并最终得到一个分类算法模型，可以对训练集的图片进行分类。

CNN 是一种类似于滤波器一样的东西，只是普通的滤波器是一维的，而 CNN 可以是多维的。

项目的输入数据包括 12500 张标记好的猫的照片和 12500 张标记好的狗的照片，这 25000 张图片构成训练图片集，另外有 12500 张未分类的猫和狗的图片，是测试集，用于最终评估分类算法的性能。

1.2、问题陈述

Kaggle 竞赛项目中所用到的图片，都是从现实生活中采集的包含猫或者狗的图片，图片的分辨率，图片中的场景、光线、背景各不相同。猫或狗的颜色，姿态，数量也各不相同。这些都有利于提高算法模型的适用范围。

项目过程中，使用了 2 个步骤进行模型的搭建和模型的学习。其一是使用现成的算法模型 Xception 提取图片特征；其二是搭建神经网络对提取的特征进行分类，并训练该部分神经网络。

同时，分类算法需要给出分类的自信度，取值为-0.1：1 代表 100%是狗；0 代表 0%是狗，也就是 100%是猫（这是个二分类问题，不存在其他第三种状态）。

1.3、评价指标

Kaggle 本次猫狗大战竞赛，使用的评价指标为对数损失函数（越低越好），计算方法如下：

$$\text{LogLoss} = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)]$$

可以看出，该函数不但与正确率相关，也与分类的自信度相关，在当前算法正确率越来越接近 100%，正确率对算法的优劣的区分度越来越弱的情况下，自信度对于算法优劣就更加重要了。

2、分析

2.1、数据的探索

输入数据为 Kaggle 上下载的图片数据，包括：25000 张标记好的图片作为训练数据集（训练过程中需要将其拆分为 2 部分，作为训练数据集和验证数据集），这 25000 张图片又分为 12500 张标记为猫的照片和 12500 张标记为狗的照片。另外，还有 12500 张图片是未标记的，将作为测试数据集，用于最终评估算法模型的优劣。

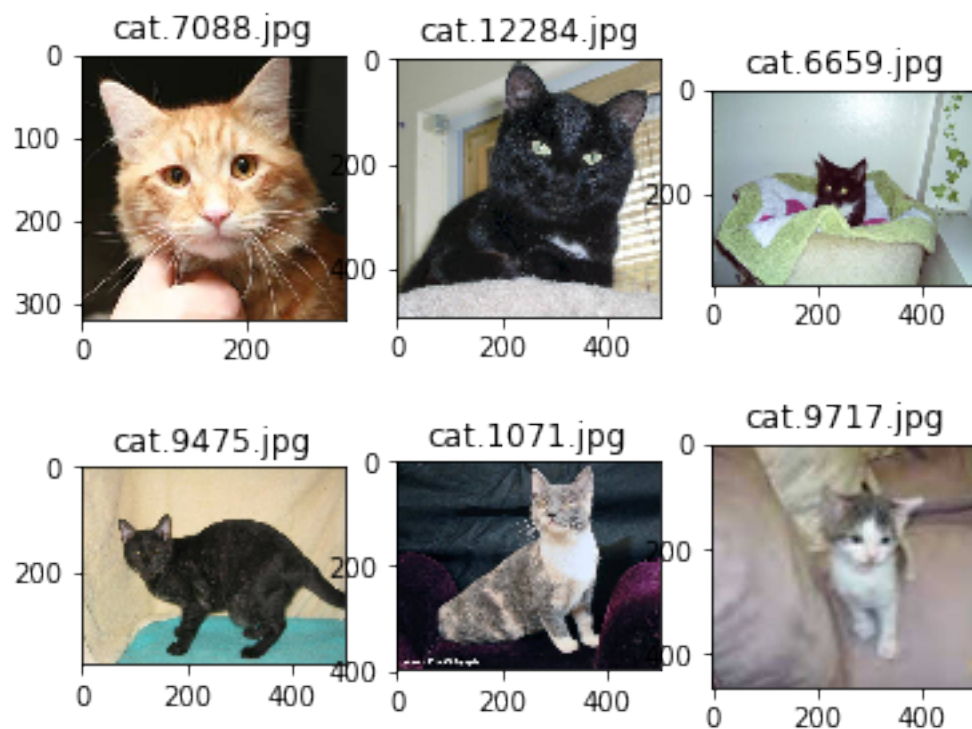
随机浏览这些图片可以发现，在这总共 37500 张图片里面，图片的分辨率，图片中的场景、光线、背景各不相同。猫或狗的颜色，姿态，数量也各不相同。

另外，由于猫狗所占比重一样，构建训练模型时不再调整类别权重。

2.2、探索性可视化

每次随机抽取 18 张图片，其中 6 张是标记为猫的，6 张标记为狗的，以及 6 张未标记的测试集图片：

图 1、训练集图片



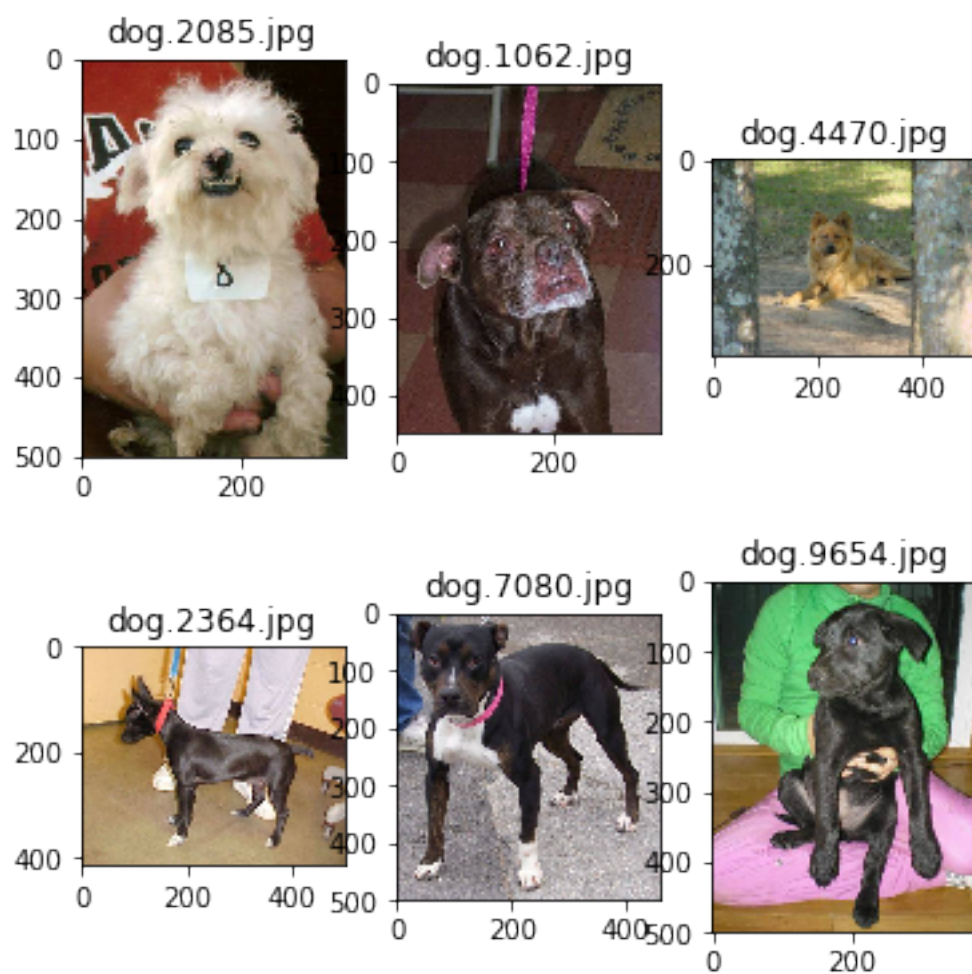
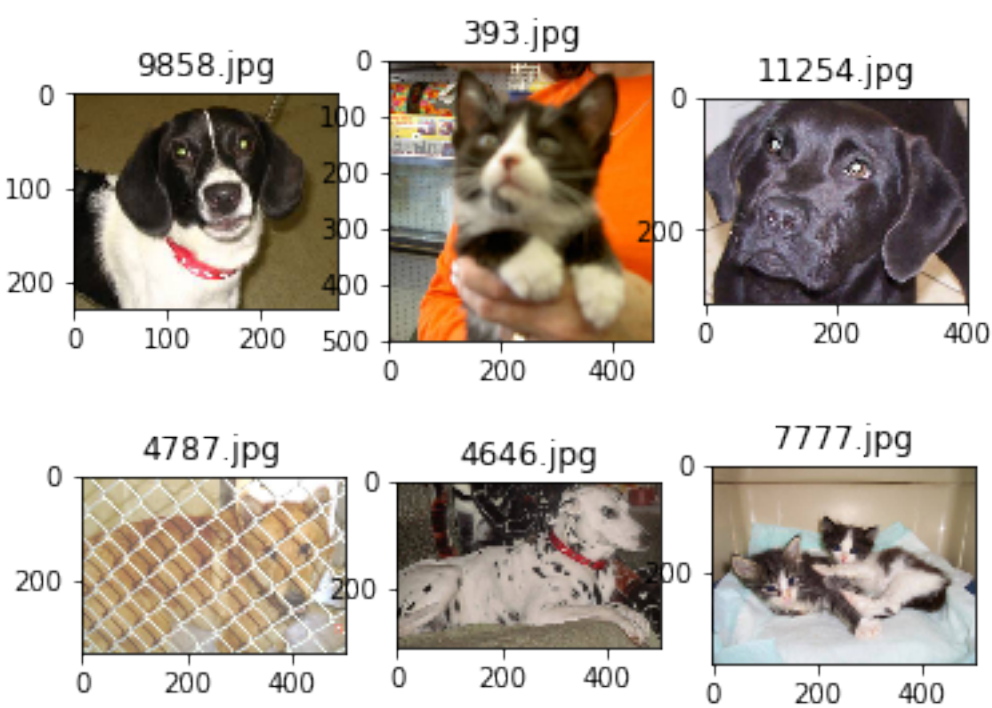


图 2、测试集图片



可以看到，从动物形态，图片背景，照片光线等角度看，数据的多样性还是比较完备的。

2.3、算法和技术

2.3.1 基础算法

这是一个图片识别问题，也是一个图片分类的问题，在这类问题中，卷积神经网络有较好的优势。

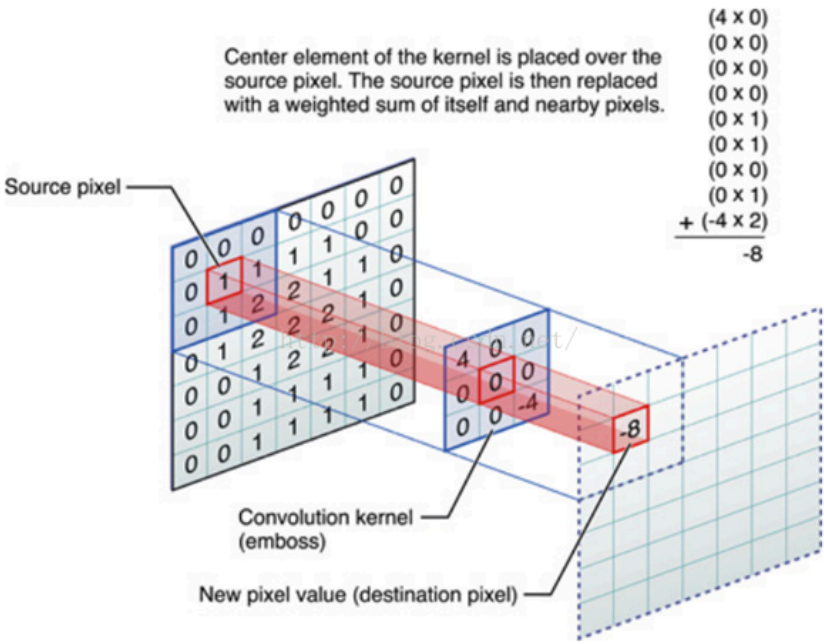
卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）是一种前馈人工神经网络，一般情况下，卷积神经网络由一个或者多个卷积层，池化层，激活函数以及顶层全连接层组成。它通过较小的卷积单元（也代表较少的参数），在图片上提取特征，然后又可以使用多个这种较小的卷积单元，以及多层卷积单元，实现对图片不同特征以及非常抽象的特征的提取。

卷积层（Convolutional layer）是卷积神经网络的核心模块，在卷积神经网络中，一般第 1、2 层卷积层可以提取简单的图片特征，如边缘、线条、角等，更多层、更深层的网络，提取的特征更复杂，更加抽象。

尽管全连接前馈神经网络也可以实现对图片特征的提取以及分类，但这样做是非常耗费资源的，因为全连接的网络会有太多参数。如一输入图片维度为 300×300 （这里没有考虑 RGB，只有一层灰度），那么第二层（全连接层）的单个神经元就有 9 万个参数，当每层的神经元变多，且层数增加时，需要训练的参数数量将会变得极大，难以训练。






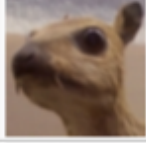
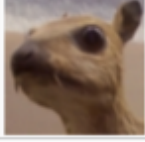
而卷积神经网络就不一样，卷积核（Convolution kernel）一般都较小，如 3×3 ，如图 3，卷积核先对输入图片的一小块区域进行特征提取，然后移动卷积核（按照确定的移动步长，如步长为 1 代表卷积核每次移动 1 小格），使其作用在输入图片的另一小块区域，最终在整个输入图片上进行特征的提取。

图 3、卷积



卷积核虽小，但是对于提取图片特征却也能起到较好的作用，如图 4 边缘检测，图片锐化，模糊化处理等。

图 4、卷积核作用

Operation	Filter	Convolved Image
Identity	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	
Edge detection	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	
Sharpen	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	
Box blur (normalized)	$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	
Gaussian blur (approximation)	$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	

在图片上使用多组不同的卷积神经元，以及多层神经网络结果，再应用反向传播算法进行训练，更新这些神经元（包括卷积层）的权重，使得神经单元的参数能高效和准确地提取图片特征，可实现更准确的分类。

池化层（Pooling Layer），是用于降低采样的方法，它在尽量保持原有图片特征的基础上，降低特征的维度，通常池化方法有两种：最大池化和平均池化，假设池化的核维度为 2×2 ，那么最大池化就是在 2×2 的空间中获取最大的那个参数并提取、输出，如果是平均池化，就是在 2×2 空间中的 4 个参数取平均值并提取、输出。池化层和卷积层一样，有移动步长参数。

全连接层（Fully connected layer），将输入层的每一个神经单元连接到输出层的每一个神经单元。这也是传统意义上的多层感知机神经网络。

另外，还有其他的算法，如 flatten 层，用于将输入的输出展平成一维的，方便后续处理。

在深度学习快速发展的今天，卷积神经网络越来越复杂，层数也越来越多，达到了几十层，在这些网络里面应用的技术也有长足的发展。

相较于全连接网络，

2.3.2 Xception

在 ResNet 使用残差连接网络[1]的基础上以及 Inception[2]的基础上，又发展出了 Xception 这种连接网络。

简而言之，Xception 是一种在深度上分开堆叠的卷积网络，且应用了残差连接方式（a linear stack of depthwise separable convolution layers with residual connections）[3][4]，这里所说的深度，也是指通道，见图 5（通道分开卷积）、图 6（Xception block 结构）、图 7：

图 5、depthwise separable convolution layers

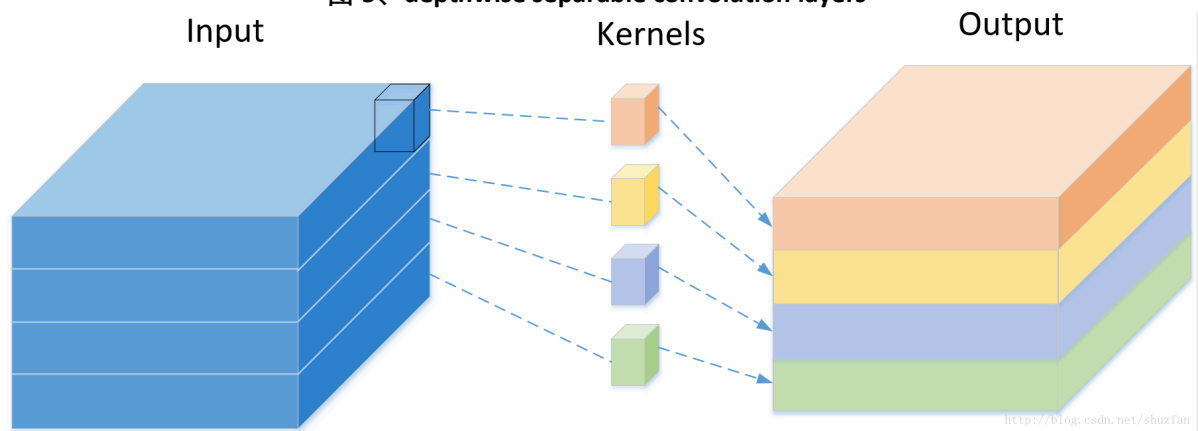


图 6、Xception 的 block7 图示

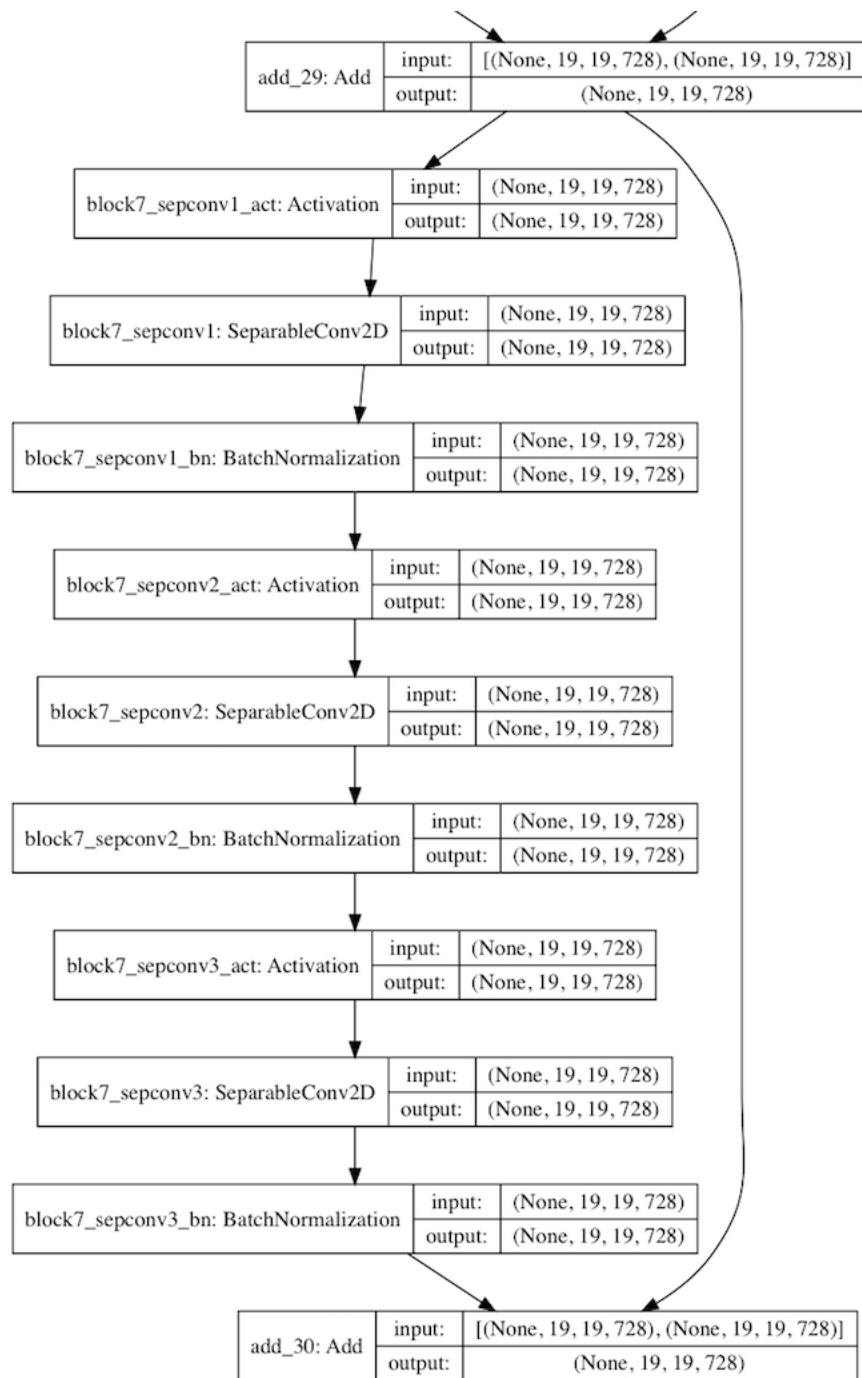
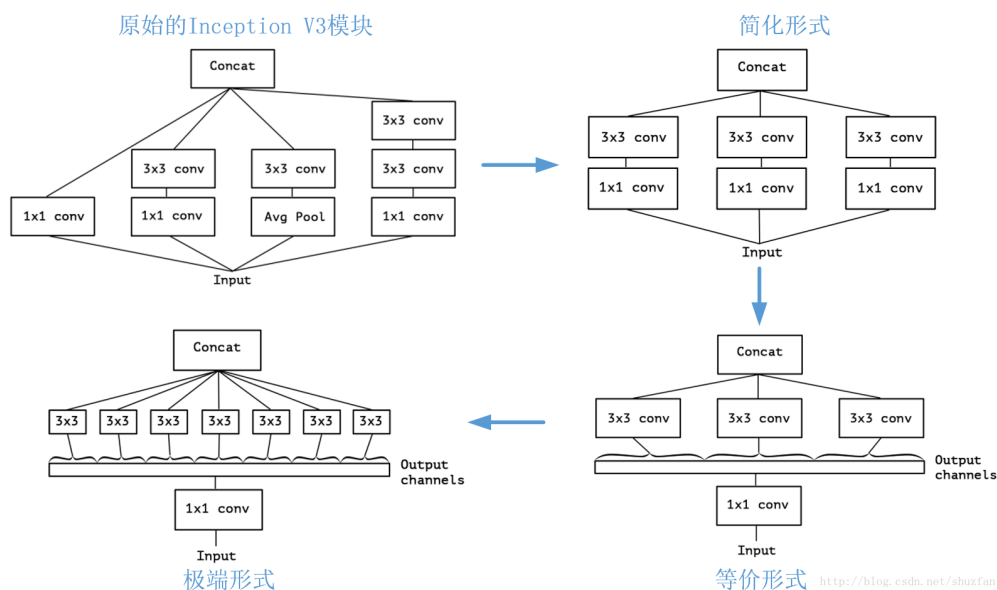


图 7、极端 Inception 发展 (Xception)



同时，这种极端的架构方案使得 Xception 更容易理解和搭建。

2.4、基准模型

以 Kaggle 的 Public LeaderBoard 排名 10%作为基准，也就是在测试集上的 $\text{logloss}=0.06127$ (这是当前 Public LeaderBoard 上排名为 131/1314 的分数)。

我在此将会沿用该 logloss 算法评估我的分类器性能，期望是使算法模型能在 kaggle 的 Public LeaderBoard 排名 10%以内，即 $\text{logloss}<0.06127$

3、方法

3.1、数据预处理

3.1.1 异常数据处理

使用预训练网络 ResNet50（在 imagenet [5]数据集上训练过），以及已有的权重，仅对训练数据集中已经标记的猫或狗的图片进行预测，而不对测试数据集进行预测。

在 imagenet 中，猫的种类有 7 种（分别标记为：['n02123045', 'n02123159', 'n02123394', 'n02123597', 'n02124075', 'n02125311', 'n02127052']），而狗的标记有 118 种（此处不予列举），那么我们预测出的结果的 Top_x（x 可以是 3，5，10，或者 100 等），如果没有出现对应的猫或者狗，我们就将图片打印出来，再进行人工辨别。

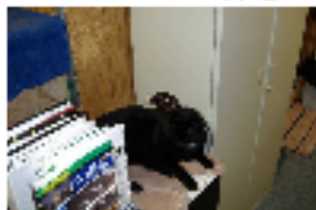
最终，对于猫的异常图片识别，使用了 Top100，在 Top100 里，仍有 49 张图片预测没有出现猫：

图 8、错误标记的猫（举例）

cat.10700.jpg



cat.2150.jpg



cat.10636.jpg



cat.5351.jpg



cat.9090.jpg



cat.7968.jpg



cat.7564.jpg



cat.9290.jpg



cat.6345.jpg



cat.11184.jpg



cat.2520.jpg

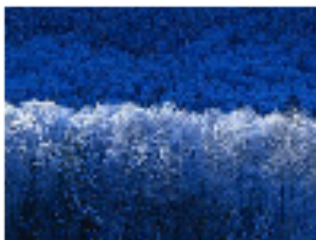


cat.11565.jpg



PHOTO COMING SOON

cat.5418.jpg



cat.4338.jpg



cat.11879.jpg



cat.7377.jpg



cat.8921.jpg



cat.5820.jpg



对于狗的异常图片识别，使用了 Top20，在 Top20 里，仍有 20 张图片预测没有出现：

图 9、错误标记的狗（举例）

dog.11299.jpg



dog.9681.jpg



dog.7706.jpg



dog.1043.jpg



dog.5336.jpg



dog.8736.jpg

Adopted

dog.12155.jpg



dog.11437.jpg



dog.4367.jpg

YAHOO! MAIL

dog.1259.jpg



dog.5604.jpg

camera shy

dog.10225.jpg



dog.9517.jpg



dog.1194.jpg



dog.2422.jpg





这些由 ResNet50 预训练网络判定异常（没能检测出猫）的 49 张猫的图片中，再根据肉眼判断，最终有 15 张得以保留，其余 34 张删除。

这些由 ResNet50 预训练网络判定异常（没能检测出狗）的 40 张狗的图片中，再根据肉眼判断，最终有 7 张得以保留，其余 33 张删除。

总共删除训练数据 67 张图片。

3.1.2 图片输入处理

由于在项目中是用 Xception 及其在 imagenet 的预训练权重提取图片特征，而 Xception 输入的图片尺寸需要统一为 (299,299,3)，将数据从 (0, 255) 缩放到 (-1, 1)，这里使用 keras 模块中的自带的 `keras.applications.xception.preprocess_input` 进行输入数据的预处理。

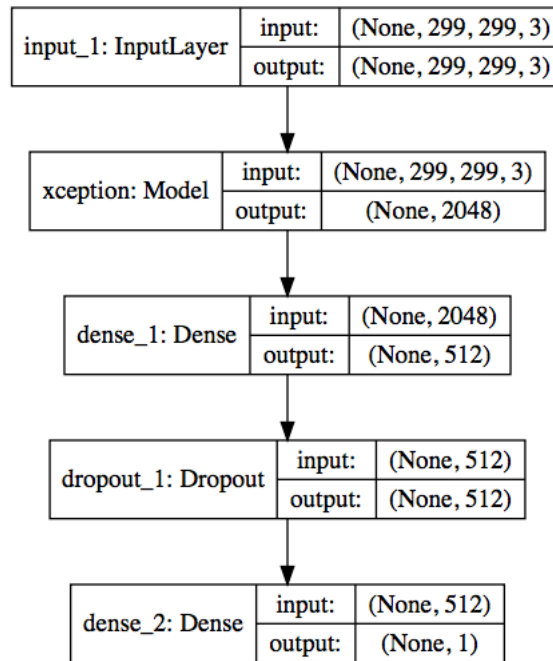
3.2、执行过程

3.2.1 整体方案

整体模型搭建如图 10，具体如下：

- A) 先将图片预处理为维度：(299,299,3)；
- B) 然后使用一个预训练的 Xception 模型（也使用其在 imagenet 上的预训练权重），对图片进行特征的提取；
- C) 使用 GlobalAveragePooling2D 进行池化，是的输出特征的维度变为 (nb_samples, 2048)；
- D) 全连接层，激活函数为 'relu'，加快收敛速度，输出维度为 (nb_samples, 512)；
- E) Dropout 层，防止过拟合；
- F) 全连接层，激活函数为 'sigmoid'，输出维度为 (nb_samples, 1)，也就是每个图片的输出都是 (0,1) 区间的一个数，就是进行分类。

图 10、图片分类算法模型



3.2.2 特征提取

因为 Xception 的权重在项目中不进行调整，而且 Xception 的参数多，层数也多。那么在训练过程中，就使用 Xception 模型将图片的特征提取出来，再将这些特征提供给后面的神经元进行训练。

又因为可能会多次使用这些特征用于训练，因此将提取的特征保存为 h5 文件，然后就可以随时获取这些特征并进行训练了。

另外，对于 Xception 模型的输出，如果使用 Flatten 输出，维度是：(samples,204800)，这个比较大，此处不太必要。最终选择池化层 GlobalAveragePooling2D 进行输出并保存为 h5 文件。

3.2.3 分类模型及训练

读取由 Xception 提取的特征后，在上面应用：Doupout 层，Dense 层，Doupout 层，Dense 层最后一层使用激活函数'sigmoid'，输出 (0,1) 区间的单个值，正好用于分类及分类自信度的表达。

使用随机梯度下降法进行训练，损失函数就是交叉商损失函数。

同时，对于整个训练集，切割其中的 20%作为验证数据集，剩下的 80 才是真正的训练集。

3.3、完善

对训练数据集图片进行数据增强：

调整亮度，对 RGB 像素先归一化（除以 255，使其处于[0, 1]区间）后，使用指数型放大公式，具体如下：

$$A' = (A/255)^{1.0/\gamma} * 255$$

其中，A 为原图像素的 RGB 值，A'为变更后的 RGB 值。 γ 为放大指数，取值 0.5-2 之间。

当 γ 取值在(0.5, 1) 区间时，图片的亮度降低，但对对比度增加；

当 γ 取值在(1,2) 区间时，图片的亮度增加，但对对比度降低；

图 11、图片亮度处理(γ 分别取值 0.5 和 2)



最终在增强的过程中，随机不重复抽取 40% 图片改变亮度（随便变量或者变暗）， γ 取值在 (0.75, 1) 和 (1, 1.5) 两个区间。

所有抽取到的图片会保留原图，但是会复制一个副本对其进行改动。

4、结果

4.1、模型的评价与验证

A) 预训练模型选取：

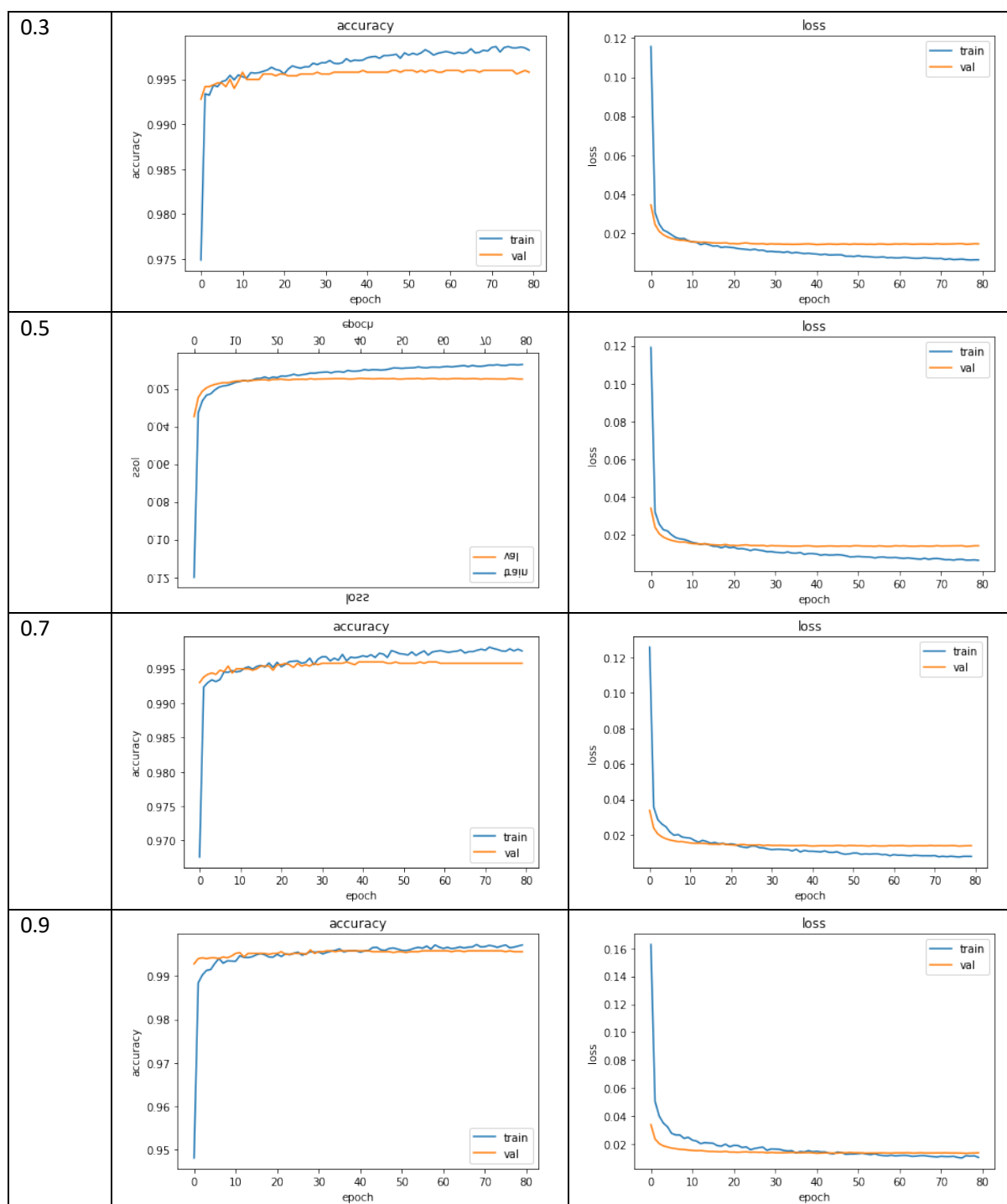
对于卷积网络模型，可以发现，ResNet 的出现使得神经网络的深度可以做得更多层了，可以提取更抽象的特征，而 Inception 是为了更宽的神经网络提取更多特征而设计的。Xception 融合了两者间的优点，而且，算法及参数也不比 Inception 复杂。

B) Dropout 层：

模型中添加 Dropout，可以比较有效的防止过拟合。但如果 Dropout 层的丢弃概率太大，那么将会使得训练时的收敛速度异常缓慢。而如果 Dropout 层的丢弃概率太小，则其防止过拟合的作用将变得不明显。

表 1、dropout 的对训练曲线的影响

Dropout	Accuracy	logloss
t		



如表 1 可知在， dropout 在区间 (0.3, 0.9) 上时，模型都能实现收敛。初步观察，可得如下规律：1、当 dropout 较小时，收敛稍快；2、当 dropout 较小时，模型在验证集上的表现明显劣于其在训练集上的表现，这是模型对训练集过拟合的表现；3、当 dropout 较大时，模型在验证集上的表现变得接近其在训练集上的表现。

表 2、val_loss 随 dropout 的变化

Dropout	Val_loss_min (Epochs=60 以内)	Epoch (达到 Val_loss_min)
0.3	0.0141	35
0.5	0.0139	41
0.7	0.0137	41
0.9	0.0134	78

表 1, 2 所用的优化器参数为 : $lr=0.01$, $momentum=0.8$, $decay=1e-4$, $nesterov=False$, 表中 Val_loss_min 是指验证集的损失函数在 80epochs 以内能达到的最小值, 而 Epochs 指第一次出现 Val_loss_min 时的 epoch。如第一行数据, 指在 dropout 取值 0.3 的情况下, 在 80epochs 的训练期间, 得到的最好成绩为 $val_loss=0.0141$, 在 epochs=35 时就已经达到 (之后的成绩都小于或等于改成绩)。

由表 2 可知, 当 dropout 较高时, 模型在验证集上的表现也会稍好一些, 也就是在训练集上的过拟合会低一点, 但训练的收敛时间会延长。

同时可以发现, dropout 的这些取值, 基本都能得到较好的 Val_loss , 都在可接受范围。

最终权衡选择 dropout=0.7, 因为和 dropout=0.5 或者 dropout=0.3 相比, 收敛速度几乎无差别, 但也能稍微降低 Val_loss , 而和 dropout=0.9 相比, 收敛速度又加快了许多。

C) 优化器 :

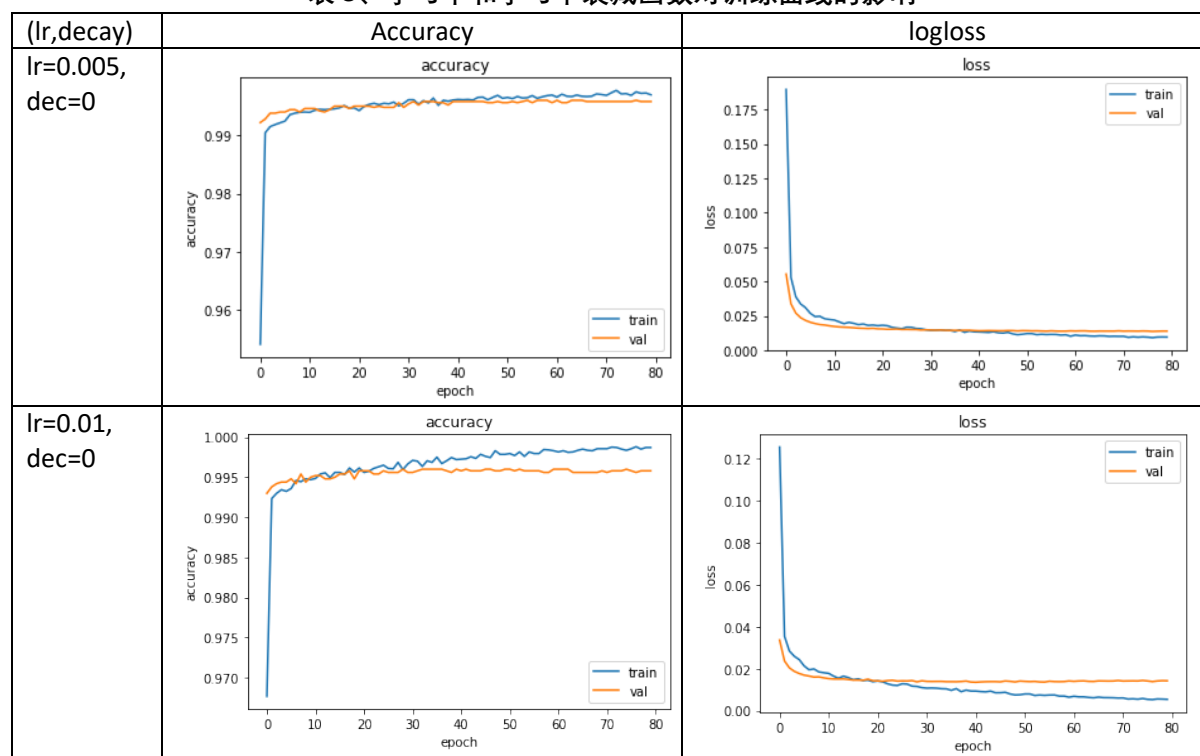
模型中使用 SGD 作为优化器, 即随机梯度下降, 该梯度下降法并非使用全局样本计算下降梯度, 而是使用小批样本进行计算。

参数 : 学习率 (Learning rate), 动量 (momentum), 学习率衰减 (decay), 牛顿动量 (Nesterov momentum)。

学习率选择过小, 则收敛速度太慢, 如过选择学习率过大, 容易导致在极小值点震荡。但 SGD 通过加入动量因子 momentum, 可以抑制震荡。

同时, 可以使用学习率衰减 (decay) 这个参数, 使得学习速率跟随着训练过程而降低, 这样就能在开始时使用较高的学习率, 加快收敛, 而训练后期降低学习率, 可以降低在极小值点震荡的风险。

表 3、学习率和学习率衰减函数对训练曲线的影响



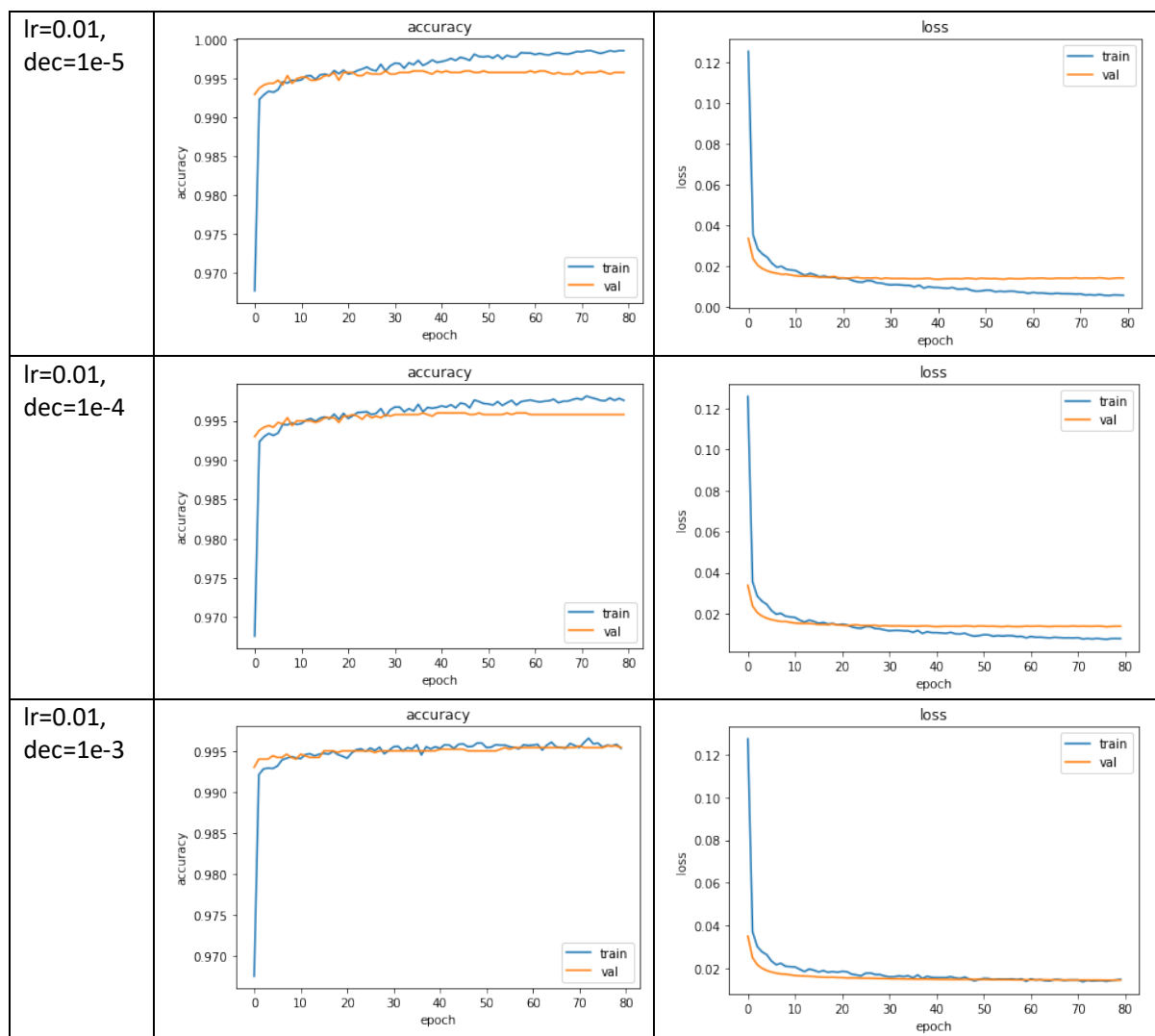


表 3 中，其他参数为：模型 dropout=0.7，SGD 优化器：momentum=0.8，nesterov=False。Lr 指 learning rate（学习率）。dec 指 decay（学习率衰减系数）。

根据训练结果，可以发现，当学习率 Lr 较低时，收敛速度会较慢，而当学习率大时，收敛速度加快，训练成绩（val_loss，验证集的损失函数）可能会较差。

对于 decay：1、当 decay 太小时，对学习率的衰减不明显，学习曲线也就接近于原来 decay=0 时的曲线，如 $lr=0.01$, $dec=1e-5$ 的学习曲线就和 $lr=0.01$, $dec=0$ 的差别不大；2、当 decay 太大时，会使得模型的学习率更早接近 0，但此时仍未收敛到较好的结果，最终模型的表现（val_loss）也不好，如 $lr=0.01$, $dec=1e-3$ 的学习曲线。

最终权衡，选择 $lr=0.01$ ，decay=1e-4。

D) 过拟合应对策略：

模型训练过程中，有时，其在训练集或者验证集中的精度越来越高（损失函数也越来越小），但有可能已经陷入过拟合的情况。因此，我们可以在训练过程中使用 ModelCheckpoint 来记录训练中的模型权重，并且多次记录，并保存成独立文件。这样就可以对比不同训练次数的模型在测试集的具体表现了。

E) 训练及验证：

删除 67 张异常标记的图片后，进行训练（训练集取 20% 作为验证集）。

Dropout 参数：dropout=0.7。

优化器及参数为：SGD($lr=0.01$, momentum=0.8, decay=1e-4, nesterov=False)。

最终在测试集上得到的损失函数为(epochs=20 时得到)：

logloss = 0.04092

F) 图片增强：

在此基础上，对 40% 图片进行数据增强（复制图片副本进行亮度调节），则损失函数可以做到(epochs=10 时得到)：

logloss = 0.04090

G) 收敛特性：

数据增强之前（训练集已经删除 67 张异常图片）：

图 12、训练集精度

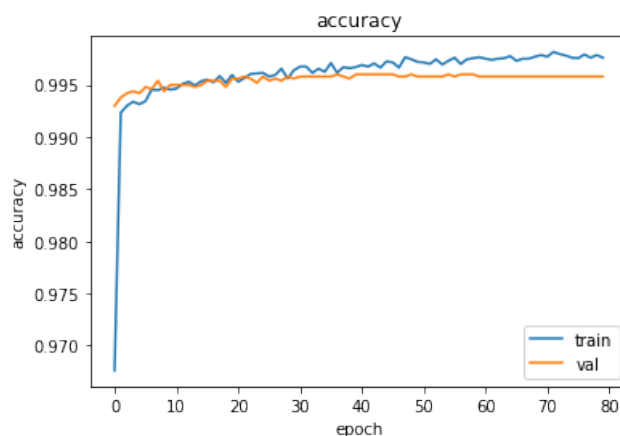
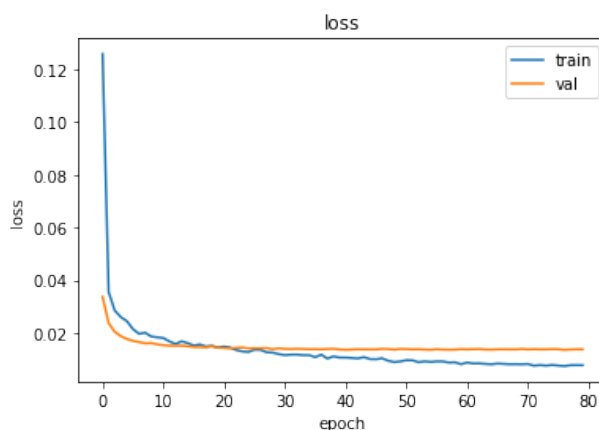


图 13、训练集损失函数



看图 12、图 13 可知，在 epochs=60 时，验证集的精度基本不再提高，损失函数也基本不再降低，可以认为 epochs=60 时，模型已经收敛。

但是在测试集上（使用 checkpoint 保存不同 epochs 时的模型权重，使用 load_weights 方法获取这些模型权重，用于对测试集进行预测，将结果提交到 kaggle，看损失函数），得到如下结果：

epochs=60 时，test_logloss = 0.04185；

epochs=30 时，test_logloss = 0.04123；

epochs=25 时，test_logloss = 0.04106；

epochs=20 时，test_logloss = 0.04092；

epochs=15 时，test_logloss = 0.04108；

epochs=10 时，test_logloss = 0.04111。

可以看出，epochs=20 时，test_logloss = 0.04092，是较好的成绩，而且模型在 epochs 在 10-30 区间时的得到的 test_logloss 都差别不大，因此，认为模型已经收敛，最终模型取 epochs=20 时的权重。

数据增强之后：

图 14、训练集精度

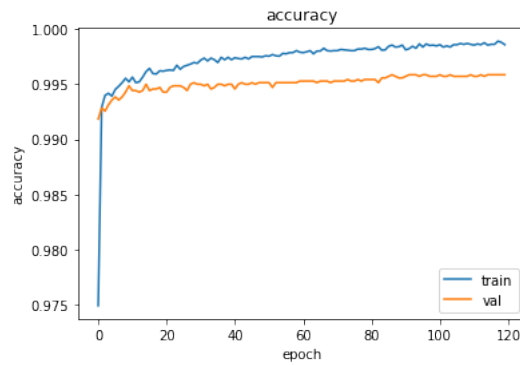
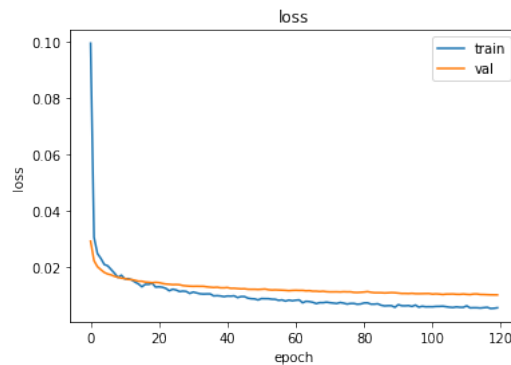


图 15、训练集损失函数



从图 14，图 15 可以看出，数据增强后，模型在验证集上的收敛反而更慢了，要到 epochs=120 左右才接近收敛。但详细分析可知，这是过拟合现象。

将训练模型的预测结果提交 kaggle，得到如下结果：

epochs=120 时，test_logloss= 0.04370 ；
 epochs=60 时，test_logloss = 0.04278 ；
 epochs=30 时，test_logloss = 0.04177 ；
 epochs=20 时，test_logloss = 0.04179 ；
 epochs=15 时，test_logloss = 0.04105 ；
 epochs=12 时，test_logloss = 0.04107 ；
 epochs=10 时，test_logloss = 0.04090 ；
 epochs=8 时，test_logloss = 0.04105 ；
 epochs=5 时，test_logloss = 0.04123。

可以发现，在 epochs=10 时，在 kaggle 上得到的 logloss 最低，此时，test_logloss =0.04090，且，epochs 在 5-30 区间时得到的 test_logloss 都差别不大，认为模型已经收敛，最终模型取 epochs=10 时的权重。

由图 15 可知，在数据增强后，开始训练时的收敛速度较快（相比数据增强之前），验证集在 epochs=4 时，val_logloss= 0.0191，但之后其收敛速度变得非常缓慢（相比数据增强之前），到 epochs=120 左右，logloss 才有收敛的趋势。这是数据增强的方案问题，因为为了追求模型简单，数据增强不是在训练时增强的，而是在一开始就复制训练集的图片，进行亮度调节并重新保存（与原图有较高的相似度），以此当训练集，这就代表在训练集中有较多相似的图片，而且，在训练前分割训练集和验证集时也是随机的，验证集并没有排除这些相似的图片（数据增强的图片），因此导致验证集和训练集的数据有一些相似的图片，导致模型对这些数据过拟合了。

另一方面，可以看出，数据增强并未明显改善模型的表现（数据增强之前：logloss=0.04092；数据增强后：logloss=0.04090），特别是当数据增强更为强烈的时候，甚至会使得模型表现变差。因此，在进行数据增强时，需要考虑过拟合的影响。

G) 结果：

不论是在训练集还是在测试集上，模型的表现都达到预设的标准（logloss<0.06127）。

4.2、合理性分析

项目之初设定的基准要求是 $\text{logloss} < 0.06127$ ，现在使用单个 Xception 模型就能以较大的幅度超越这个基准，可以说 Xception 对于此类图片特征的提取是高效的，而全连接的分类算法模型也是有效的。

5、项目结论

5.1、结果可视化

如图 16、图 17（都是图片数据增强之后），该模型能以较快的速度收敛，而且在训练集和验证集上实现较好的成绩（精度大于 99%，损失函数小于 0.02）

图 16、训练集精度

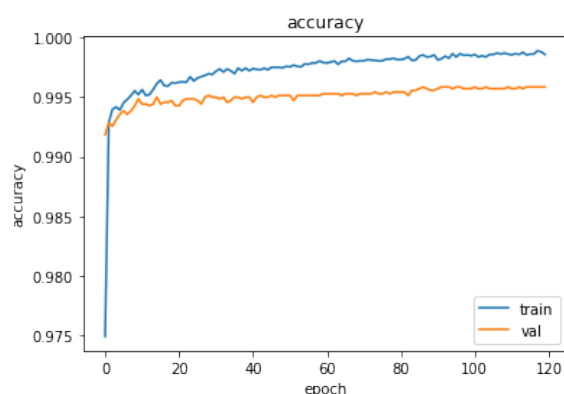
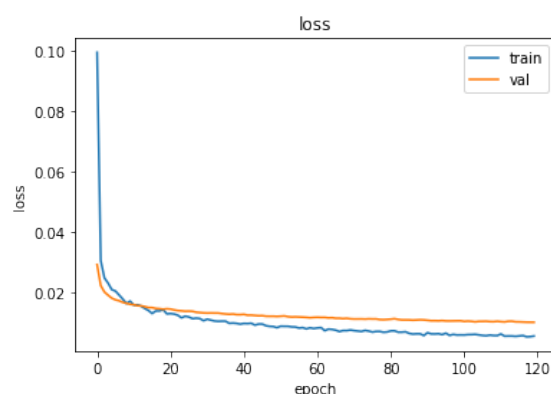


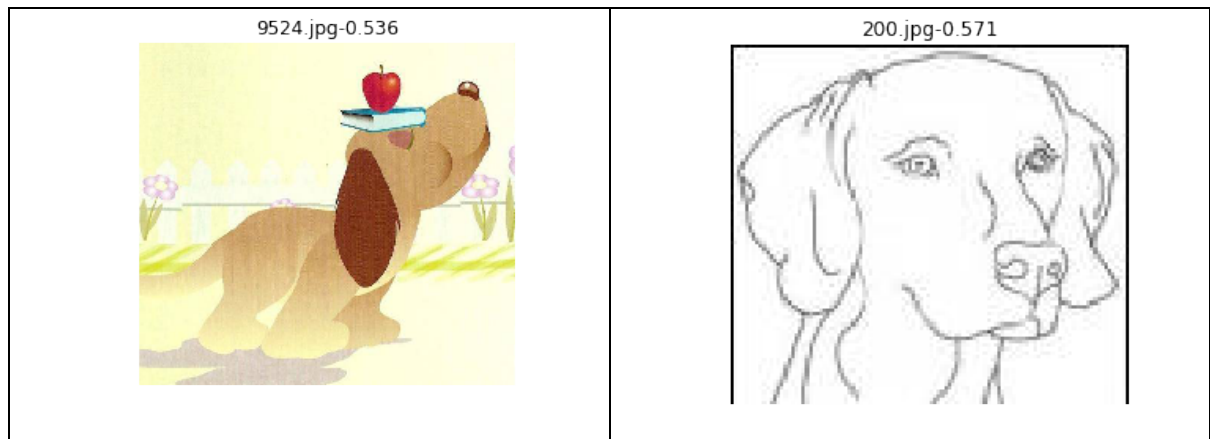
图 17、训练集损失函数



在测试集中，获取所有预测值在区间 $(0.4, 0.6)$ 的图片，也就是算法难以判断分类的：

图 18、测试集难辨图片（举例）





由此可见，测试集也存在异常图片。

同时，这也从另一方面说明，模型除了判定图片的归类，其分类自信度（预测值，取值于 0 到 1 之间），也是有一定意义的。

5.2、对项目的思考

A) 在应用层面的开发，使用预训练的权重，可以降低收集训练数据集的数量、难度与时间，也能极大的减少训练时间；

B) 因为 Imagenet 本身也包含不同种类的动物，还有各种品种的猫和狗，因此在 Imagenet 上训练的模型提取的特征，对于猫和狗是有一定区分度的，使得这些预训练模型及权重适用于本项目；

C) 图片增强可以用较低的成本（降低收集数据的成本）实现对模型的有效训练，但可以有更优好的数据增强办法，比如用一种人工智能网络，生成数据，给另一种模型训练，以此验证模型的可靠性；

D) 但图片增强过于强烈时，非但不能提高模型的准确率，反而会使其降低。比如图片的亮度改变范围太大时。

5.3、需要作出的改进

可以使用不同模型进行融合，如：

A) 分别使用预训练的 ResNet50、Inception V3 以及 Xception 提取特征并进行合并，然后再训练，这种方案能在训练时获得更多、更全的特征，因这些特征是由不同模型提取的，能更全面的描述图片的特征；

B) 使用预训练的 ResNet50、Inception V3 以及 Xception 模型提取特征，并单独训练，获得三个分类模型。预测时，再将这三种模型得到的结果进行投票表决（自信度取值为三个分类模型预测值的平均值）。这种方案还有个好处，能单独使用其中任何一个分类模型进行预测，并且比较不同模型的准确度及损失函数，以及投票表决后的准确度及损失函数。

引用：

[1] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. Deep residual learning for image recognition. arXiv preprint arXiv:1512.03385

[2] C.Szegedy,V.Vanhoudke,S.Ioffe,J.Shlens,andZ.Wojna. Rethinking the inception architecture for computer vision.arXiv preprint arXiv:1512.00567.

[3] Francois Chollet. Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions.arXiv: 1610.02357

[4] C. Szegedy, S. Ioffe, and V. Vanhoucke. Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning. arXiv preprint arXiv:1602.07261.

[5] O.Russakovsky,J.Deng,H.Su,J.Krause,S.Satheesh,S.Ma, Z. Huang, A. Karpathy, A. Khosla, M. Bernstein, et al. Ima- genet large scale visual recognition challenge. 2014.