目录

[摘要 III](#_Toc515552325)

[ABSTRACT IV](#_Toc515552326)

[第1章 绪论 1](#_Toc515552327)

[§1.1 基于YOLO v2的人脸模型构建的背景及意义 1](#_Toc515552328)

[§1.2 目标检测研究现状及存在的问题 2](#_Toc515552329)

[§1.2.1 研究现状 2](#_Toc515552330)

[§1.2.2 深度神经网络目标检测模型存在的问题 3](#_Toc515552331)

[§1.2.3 目标检测模型在移动端构建的难点 3](#_Toc515552332)

[§1.3 本文研究内容及目标 3](#_Toc515552333)

[§1.3.1 研究内容 3](#_Toc515552334)

[§1.3.2 研究目标 4](#_Toc515552335)

[§1.4 本文组织结构 4](#_Toc515552336)

[第2章 基于RPN的目标检测方法 5](#_Toc515552337)

[§2.1 目标检测概念综述 5](#_Toc515552338)

[§2.1.1 目标检测常用术语 7](#_Toc515552339)

[§2.1.2 目标检测常用数据集 8](#_Toc515552340)

[§2.2 常见的深度神经网络目标检测领域模型 9](#_Toc515552341)

[§2.3 目标检测典型深度神经网络模型的分析与比较 10](#_Toc515552342)

[§2.4 本章小结 11](#_Toc515552343)

[第3章 基于YOLO的目标检测方法 12](#_Toc515552344)

[§3.1 YOLO模型概述 12](#_Toc515552345)

[§3.2 YOLO系列模型结构发展与变化 12](#_Toc515552346)

[§3.2.1 YOLO v1模型结构概述 12](#_Toc515552347)

[§3.2.2 YOLO v2模型结构概述 14](#_Toc515552348)

[§3.2.3 YOLO v3模型结构概述 22](#_Toc515552349)

[§3.3 本章小结 24](#_Toc515552350)

[第4章 Android人脸实时检测应用设计与实现 25](#_Toc515552351)

[§4.1 系统整体设计 25](#_Toc515552352)

[§4.1.1 开发环境简介 25](#_Toc515552353)

[§4.1.2 应用整体架构 26](#_Toc515552354)

[§4.2 基于YOLO v2的人脸检测模型设计 26](#_Toc515552355)

[§4.3 功能模块设计 29](#_Toc515552356)

[§4.3.1 Android端模型优化模块 30](#_Toc515552357)

[§4.3.2 Android应用构建与显示 30](#_Toc515552358)

[§4.4 本章小结 30](#_Toc515552359)

[第5章 总结与展望 31](#_Toc515552360)

[§5.1 本文总结 31](#_Toc515552361)

[§5.1.1 本文的主要工作 31](#_Toc515552362)

[§5.1.2 本文的主要创新点 31](#_Toc515552363)

[§5.2 展望 31](#_Toc515552364)

[致谢 33](#_Toc515552365)

[参考文献 34](#_Toc515552366)

[附录：部分源程序清单 36](#_Toc515552367)

Android手机上的人脸实时检测APP的开发

# 摘要

人脸检测一直是目标检测中最重要的几个应用场景之一。近年来，随着深度神经网络的爆发式发展，目标检测领域获得了新的突破性成果。在众多目标检测模型中，YOLO v2以其实时性、易用性、通用性和健壮性脱颖而出，其在VOC2007上测得的mAP为76.8%，检测速度为67FPS。YOLO v2在拥有实时检测速度的同时保持着出色的定位准确度和检测精确度。综合模型体积、速度、定位和分类正确率、计算消耗及内存占用等方面因素考虑，本文所选的基于YOLO v2的人脸检测模型很适合运行于计算能力受到限制，速度又要求高的移动端。

本文主要构建了基于YOLO v2模型的Android端人脸检测应用。重新训练并优化微调后的模型在手机上进行人脸检测时间控制在1s左右，这为人脸摄像、摄像头监控等提供了一种技术方案。

关键词：YOLO v2，目标检测，区域建议网络，矩阵乘法加速

Development of Android APP for real-time face detection Based on YOLO v2

# ABSTRACT

Face detection has always been one of the most important application scenarios in Object Detection. In recent years, with the explosive development of Deep Neural Networks, new breakthroughs have been achieved in the field of Object Detection. In many Object Detection models, YOLO v2 stands out with its traits including real-time, accessibility, versatility and robustness. The mean Average Precision(mAP) of YOLO v2 measured on VOC2007 is 76.8%, and the speed of it is 67FPS. YOLO v2 maintains real-time detection speed as well as excellent detection location accuracy and detection classification accuracy. Considering the aspects of model volume, speed, location accuracy and classification accuracy, calculation consumption and memory occupation, the YOLO v2-based face detection model discussed in this paper is suitable for running on mobile terminals with limited high demand on both speed computing capacity.

This paper mainly constructs Android application for face-detection based on YOLO v2 model. After retraining and optimizing, the fine-tuned face-detection model costs at around one second on the mobile phone, which provides a solution for face snapshot, camera face-monitoring and so on.

**Keywords:** YOLO v2, Object Detection, Region Proposal Networks, Matrix multiplication acceleration

# 绪论

本章主要描述了基于YOLO v2模型的人脸检测Android端应用的背景与研究意义，分析了目标检测领域相关课题国内外的研究现状，进而提出了本文所要研究的内容及目标。

## 背景及意义

人脸检测是目标检测领域中日常应用最多的分支之一。人脸检测算法可以快速地对视频流进行监控，对过街行人、到访人数进行人流量统计，对数以亿计的图片及视频资源进行分析等等。手机端的人脸检测可以帮助摄像头进行快速对焦；对相册进行内容分类；对手机拍摄的图片进行自动处理；对手机视频录像逐帧进行分析等等。

移动端与嵌入式设备的便携性使得它们的硬件性能不高。要在内存及CPU能力都受限制的手机上运行人脸检测模型，需要模型在体积、速度、正确率、计算消耗及内存占用方面都达到比较理想的水平。传统的人脸检测方法是基于哈尔特征进行检测的，但其对人脸的标准程度很敏感，当出现光照不佳、曝光过度、脸部遮挡及侧脸等情况时效果较差。进入深度神经网络时代后，使用计算机视觉将原始信息转化为结构化数据的能力越来越强，目标检测网络的性能得到了巨大的提升，其准确度及鲁棒性要高于传统方法下的人脸检测模型。

YOLO v2作为目标检测领域中被广泛应用的模型之一，一直享有速度很快完全可以满足实时检测的盛名。YOLO v2实际上可以针对很多种目标进行检测，易于上手且对计算能力消耗相对较少，其中的YOLO v2在达到67FPS的速度的同时保持很好的准确度和检测精确度，因此基于YOLO v2的人脸检测模型很适合运行于计算能力受到限制，速度又要求高的移动端。

## 研究现状及存在的问题

人脸检测作为最日常的基础应用已经活跃在机器学习领域很多年，并且已经拥有很多成熟完备的解决方案。传统的人脸检测方法对环境干扰敏感，且检测准确度和速度都有待提升。在深度神经网络流行起来后，人脸检测模型的检测效果有了质的飞跃。下面具体阐述相关研究现状以及存在的问题。

### 研究现状

Android早在第一个版本上就内置了人脸检测算法FaceDetection，但是速度慢，算法效果比较弱，该算法检测的其实只是人的眼睛。同时该算法需要硬件的支持，若手机摄像头不支持则无法启用。Google新推出的Android Vision API有全新的人脸检测的实现，但是只支持Android 8.0以上版本。除算法模型本地运行进行人脸检测外，还可以通过互联网将图片传输到服务器进行分析并返回结果。国内知名公司Face++、百度、虹软等都开放有收费的API提供人脸检测服务，Google Cloud和Chrome也有开放测试版本的免费API，它们的模型也都是基于深度神经网络的。但是通过网络传输图片分析因其消耗的流量过多且需要良好的网络环境，可能不适用于视频实时检测。因此在类似情况下会更倾向于采用本地的模型进行人脸检测。

传统的人脸检测有两种方法：一种是利用人工提取特征来进行训练分类，利用**哈尔特征(Haar-like features)**来提取图像特征对相机实现人脸检测，另一种是方向梯度直方图(HOG)来提取图像特征再将特征传给SVM进行分类。但传统方法对环境干扰很敏感，当人脸被遮住、侧脸、光照很弱或者曝光度很高的情况下检测效果差。

人脸检测需要鲁棒性与正确率更高的模型，解决这个问题可能需要从目标检测领域入手。从2013年第一个基于CNN的目标检测模型被提出开始，就不断有人将其针对人脸进行训练，得到的人脸检测效果也在不负众望地不断刷新记录。YOLO v1、SSD、DSSD、SSD、MultiBox、R-FCN、MTCNN、FPN FRCN、YOLO v2、YOLO v3等等相继面世，这些目标检测模型在性能和速度上都拥有着不俗的表现（详细比较见表2-3）。在2018年的今天，深度神经网络的快速发展仍推动着整个计算机视觉领域跳跃前行，两者的进步结果切实促进并丰富了人们的生活。

人脸具有特征明显易于提取的优点，因此人脸检测的模型相对容易优化。例如专门针对人脸特征进行检测的算法模型seetaface，OpenFace，DeepID，DeepFace，cascadeCNN等。

### 存在的问题

上文中提到，虽然应用

根据移动端的特性，要求人脸检测模型复杂度较低，占用内存资源较少，且速度要快。由此可以发现将工业界普遍应用的模型应用于移动端时存在以下的问题：

1. 模型复杂度很高且速度较慢，只适合部署在服务器端；
2. 模型体积大且包含过多的浮点运算，容易造成手机死机。
3. 速度较快但对环境的适应性不佳，例如MTCNN是对五官特征点进行定位的，有时候检测不到结果；
4. 通过网络传输图片分析，消耗的流量过多且需要良好的网络环境，不适用于视频实时检测。
5. 对小脸的检测效果很不好。专门适用于小脸检测的Tiny Face倒是弥补了众多模型的缺点。

可以看到，鱼和熊掌不可兼得，移动端的人脸检测需要保持多方面的平衡，并根据自身需求向相应方向进行倾斜。事实上不止人脸检测，提高速度与准确率的同时保持两者的一个平衡，是当下深度神经网络目标检测模型都需要考虑并优化的主要问题。

### 目标检测模型在移动端构建的难点

虽然基于深度神经网络的人脸检测的模型已十分成熟并取得了相当的成绩，但如果要在移动端这样CPU与GPU计算能力都有限的设备上运行，仍然存在以下一些技术难点：

1. Android的arm系CPU架构不同于PC，而arm系CPU还又分为arm64、armv7等架构，如何进行针对性优化。
2. Android端的浮点计算加速库很少。PC端的浮点计算加速库已经非常成熟，并且有众多开源社区及商业公司进行维护。
3. Android直到8.0版本才内置了TensorFlow深度学习API，然而Android通常需要兼容4.4以上的版本。
4. PC端模型如何移植到Android端。

## 本文研究内容及目标

本文针对深度学习目标检测领域模型遇到的问题，选择使用可以实时检测、体积小且浮点计算占用少的YOLO v2-tiny模型作为基础模型，优化并修改模型结构，对拍照及其他方式输入的图片进行人脸检测，将其配置到Android端运行，同时试图对摄像头进行实时检测。本模型为人脸摄像、摄像头监控等提供了一种技术方案。

### 研究内容

本文研究基于YOLO v2的人脸检测模型构建方法，具体研究内容有以下几个方面。

（1）人脸检测模型构建与优化；

（2）图片通过摄像头的采集；

（4）人脸检测模型移植到Android端；

（5）Android端矩阵乘法计算能力加速。

### 研究目标

针对本文的研究内容，制定了以下几项指标：

1. 重新训练YOLO v2模型并优化其结构，使其能对图片进行人脸检测；
2. 将训练好的模型移植到Android端，实现手机图片的人脸检测；
3. 模型最终**检测精度(AP)**和**检测速度(FPS)**能够达到使应用流畅使用的程度。
4. 尝试进行Android端的人脸实时检测。

## 本文组织结构

整篇论文分为五章。

第一章介绍了研究背景及研究意义，阐述了Android端上的人脸检测应用领域的现状以及存在的问题和难点，章节末尾叙述本文的研究内容以及研究目标。

第二章主要介绍了目标检测领域主要使用的几个著名模型，如SSD系列、Faster R-CNN系列等。同时解释了目标检测领域的基本术语，汇总考察了适用于该领域的数据集。

第三章介绍了YOLO系列YOLO v1、v2等网络模型的基本结构，并分析对比了该领域现存的几个著名模型与YOLO v2的差异。

第四章主要描述了基于YOLO v2的人脸检测模型应用在Android端的整体设计方式与构建方式，以人脸检测为例进行，实现了深度学习模型在Android端的落地，并展示了模型训练效果和矩阵乘法优化等各个模块的内容。

第五章对全文进行了概况总结，并指出了需要本文的不足之处及需要改进的方向。

# 基于RPN的目标检测方法

主要介绍了目标检测的基本概念以及该领域常用的基本方法，简单介绍了YOLO系列、SSD系列和基于RPN的R-CNN系列网络模型，并且解释了目标检测领域的基本术语和主要的数据集。

## 目标检测概念综述

计**算机视觉(Computer Vision)**包括图像分类、物体定位、目标检测、语义分割和实例分割，每一步都是在前一步的基础上进行的，如图 2‑1所示。**图像分类**指输入图像并对其分类，它是所有计算机视觉领域问题的最基本的环节之一；**物体定位**进一步判断图像中的目标具体位置，只需要测出固定数量的预测框，即标记对象的类别，给出物体的确切位置围绕目标的位置绘制边框；**目标检测**需要结合图像分类与物体定位两个步骤，对图像中的多个物体进行的分类和定位；**语义分割**指将相同类别的个体预测为同一类别，并加上像素蒙版覆盖标注整个类别。注意这是并不区分同种类别的不同物体的，比如第一个人，第二个人是不加区分地被分在一起的；**实例分割**需要区分出相同类别的所有实例，即所有实例都需要被区分出来，即使是同一种类别的物体。

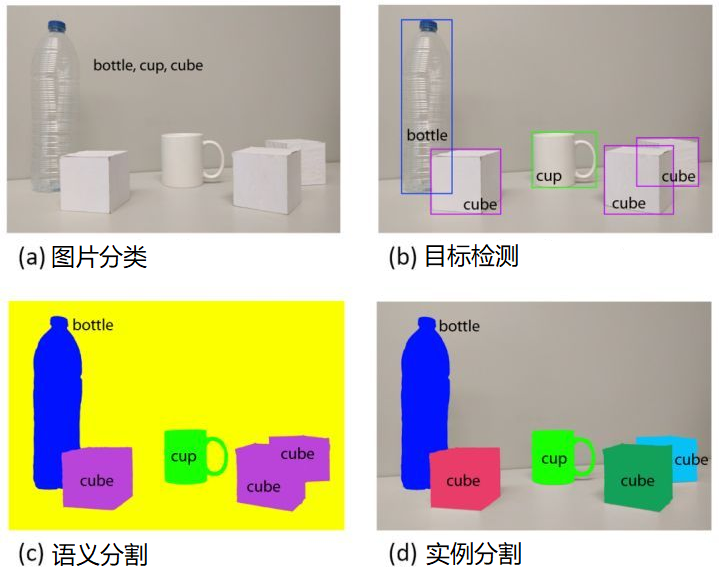


图 2‑2 计算机视觉主要任务

目标检测模型的主要性能指标是**检测准确度**和**速度**，其中准确度又包含定位准确度和分类准确度。

目前主流的目标检测算法可以分成两大类，**一步算法**和**两步算法：**

1. 两步算法，顾名思义其将检测问题划分为两个独立的阶段：定位和分类。首先产生候选区域，再对候选区域里的物体分类。这类算法的典型代表是基于RPN(Region Proposal Networks)的R-CNN系算法，如R-CNN，Fast R-CNN，Faster R-CNN等，由于注重的是区域选择，所以物体定位精确度高，但是速度比一步算法慢。
2. 一步算法，其不需要额外的区域选择阶段，同时回归网络产生物体的类别概率和位置坐标值。典型代表是YOLO系列和SSD系列。由于没有额外的区域选择模块，一般速度很快，可以达到实时检测，但精确度不如两步算法。

深度神经网络模型中卷积层的基本思想是根据图片的空间位置信息的位移、尺度、形变不变性，即**局部不变性原则**进行的，通过浅层提取出简单特征，然后在高层将这些特征抽象出可能的对象。特征提取的目标是将可变大小的图像缩小为一组的视觉特征，无论是基于传统的计算机视觉特征提取，例如基于滤波器的逼近方法，直方图方法等还是深度学习方法的特征提取，它们都从输入图像中提取特征并使用这些特征来确定图像的类别。

在目标检测框架中，人们通常使用预训练的图像分类模型（如VGG-16，ResNet等）来提取视觉特征，因为这些模型有很强的泛化性，将模型应用在COCO数据集上训练能够提取基本的通用特征。目前目标检测领域有很多用于物体检测的预训练模型，不同的分类网络具有不同的优势和劣势，比如Inceptionv3网络对大物体小物体的检测都很好，ResNet网络的总体精度非常高，而MobileNet是一个精简的网络可以最大限度地减少所需的计算资源。

### 目标检测常用术语

目标检测模型评估条件分两个方面，一个是分类的准确度，一个是定位的准确度。单纯比较绝对坐标值很复杂，因此我们引入了**IOU**(**Intersection over Union**)交并比来表示预测框和真实框的交叉部分比上预测框与真实框的并集部分（如图 2 2），值越大说明预测框与真实框的相交部分越多，也离真实框越近。当两个方框相交部分超过某个阈值时，判定检测结果为正，否则为负。

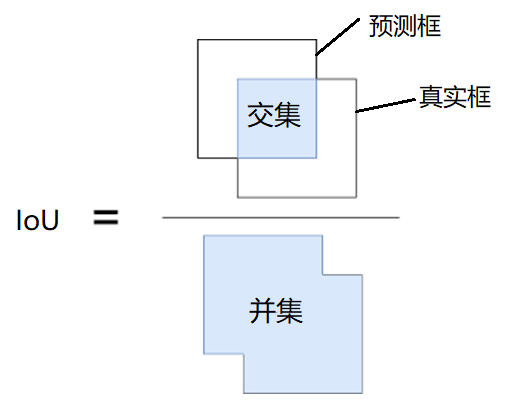


图 2‑3 IOU(Intersection over Union，交并比)计算图例

由于是标注的数据，所以我们可以计算得某种类别的物体的测试精确度，假设有一张图片，对于给定的类，可以计算该图中类别*C*的精确度如下：

其次，多种类目标检测中，有多种物体种类，若要计算对于所有图片来说某类别的精确度，则需要验证集中的每个图像计算，然后对其求平均，得到了单个类别的精确度：

最后为了用单个数字来衡量一个模型的表现，用所有类别的精确度求取平均值有：

多类别目标检测中，主流算法都统一使用***mAP***来评判模型正确率，用**FPS**来评估速度。注意需要区分召回率与准确率，**召回率(recall)**指的是样本中真正正确的有多少被预测正确了，**准确率(precision)**预测为正确的样本中有多少是真正正确的；同时对比FPS需要在同一硬件上进行，因为CPU或者CPU计算能力对图片处理能力影响极大。另外也可以使用平均处理一张图片所需时间(毫秒，ms)来评估检测速度。

### 目标检测常用数据集

表2‑1列出了常见的大型图片数据集，包含各种各样的物体和类别与十分完备的数据标注。表2‑2列出了常见的人脸数据集，本文即是借助了其中的FDDB与CelebA人脸数据集进行训练的。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 数据集 | 图片数 | 类别数 | 特征 | 最后更新 |
| ImageNet | 450K | 200 | 最大图像识别数据集之一 | 2015 |
| COCO | 120K | 80 | 图像识别和分割数据集 | 2014 |
| Pascal VOC | 12K | 20 | 物体检测和分类数据集 | 2012 |
| Oxford-IIIT Pet | 7K | 37 | 宠物图像数据分割数据集 | 2012 |
| KITTI Vision | 7K | 3 | 自动驾驶场景数据集 | 2014 |

表 2‑1 常见的大型图片数据集，包含各种物体种类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 人脸数据集 | 图片数 | 特征 | 最后更新 |
| FDDB | 3K | 椭圆形标注人脸 | 2010 |
| AFLW | 25K | 图像识别和分割数据集 | 2017 |
| LFW | 13K | 物体检测和分类数据集 | 2012 |
| WIDER FACE | 3K | 宠物图像数据分割数据集 | 2017 |
| CelebA | 200K | 最大的人脸数据集之一 | 2015 |

表 2‑2 常见的人脸数据集

## 常见的深度神经网络目标检测领域模型

上一节介绍了目标检测领域基本概念和会应用到的术语，对目标检测有了一个粗浅的了解。目标检测模型包括本文应用到的YOLO系列，SSD系列和R-CNN，Fast R-CNN，Mask R-CNN，SSD，Multibox等，这些模型的速度和定位精确度比较如下表所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **模型名称** | **基础结构** | **测试分辨率** | **不同数据集上的准确率(mAP)** | | | | **实时速度** |
| **VOC2007** | **VOC2012** | **COCO** | **ILSVRC 2013** |
| R-CNN | AlexNet | - | 58.5% | 53.3% |  | 31.4% |  |
| R-CNN | VGG16 | - | 66.0% |  |  |  |  |
| SPP-net | ZF-5 | - | 54.2% |  |  | 31.84% |  |
| DeepID-Net |  | - | 64.1% |  |  | 50.3% |  |
| NoC |  | - | 73.3% |  |  | 68.8% |  |
| Fast-RCNN | VGG16 | - | 70.0% | 68.4% |  |  |  |
| MR-CNN | 78.2% | - | 73.9% |  |  |  |  |
| Faster-RCNN | VGG16 | - | 78.8% | 75.9% |  |  | 5fps |
| Faster-RCNN | ResNet101 | - | 85.6% | 83.8% |  |  | 5fps |
| YOLO |  | - | 63.4% | 57.9% |  |  | 45 fps |
| Tiny YOLO |  | - | 66.4% |  | 23.7% |  | 244 fps |
| YOLOv2 |  | 448x448 | 78.6% | 73.4% | 48.1% |  | 40 fps |
| YOLOv3 |  | 320x320 |  |  | 51.5% |  | 45 fps |
| YOLOv3 |  | 416x416 |  |  | 55.3% |  | 35 fps |
| YOLOv3 |  | 608x608 |  |  | 57.9% |  | 20 fps |
| Tiny YOLOv3 |  | - |  |  | 33.1% |  | 220 fps |
| SSD | VGG16 | 300x300 | 77.2% | 75.8% | 41.2% |  | 46 fps |
| SSD | VGG16 | 512x512 | 79.8% | 78.5% | 46.5% |  | 19 fps |
| SSD | ResNet101 | 300x300 |  |  | 45.4% |  | 16 fps |
| SSD | ResNet101 | 512x512 |  |  | 50.4% |  | 8 fps |
| DSSD | ResNet101 | 321x321 |  |  | 46.1% |  | 12 fps |
| DSSD | ResNet101 | 513x513 |  |  | 53.3% |  | 6 fps |
| R-FCN |  | - |  |  | 51.9% |  | 12fps |
| FPN FRCN |  | - |  |  | 59.1% |  | 6fps |
| ION |  | - | 79.2% | 76.4% |  |  |  |
| CRAFT |  | - | 75.7% | 71.3% |  | 48.5% |  |
| OHEM |  | - | 78.9% | 76.3% |  |  |  |

表 2‑3 常见目标检测深度神经网络模型的速度及准确度等一系列对比表

## 目标检测典型深度神经网络模型的分析与比较

YOLO系列模型与目标检测领域其他模型的速度与精确度比较详细见表2‑5。

前文有提到Faster R-CNN单独将区域选择设立为网络所以属于两步算法模型，绪论中有详细介绍R-CNN，Fast R-CNN, Faster R-CNN系列深度神经网络模型，这一系列模型需先使用**启发式选择方法(selective search)**或者**RPN(Region Proposal Networks)**产生**候选区域(Region Proposal)**，然后再在选中的候选区域上做分类与回归，提取视觉特征然后进行评估，确定候选区域中是否存哪些目标物体。

事实上不论是传统方法还是基于CNN的方法，目标检测中定位这一部分的任务都主要借鉴了**滑动窗口**的思想**，**其基本原理是采用不同大小和比例的窗口在整张图片上以一定的步长进行滑动。但滑动窗口是一种非常蛮力的方法，它需要设置不同大小和比例和步长的窗口去滑动，这样会产生数量巨大的窗口，计算量很大，并且无法保证每一个窗口都刚好包含物体。解决这个问题的方法之一就是减少窗口数量，R-CNN便是采用**启发式搜索方法**找到最有可能包含目标物体的多个窗口来提升效率。**启发式搜索方法(selective search)**是一种基于聚类的方法，它尝试对像素进行分组并根据生成的聚类生成提案。其他方法使用从图像中提取的更复杂的视觉特征来生成区域或采用暴力方法来生成区域，类似于应用于图像的滑动窗口，用不同比例的大小和长宽比在图片上滑动，需要注意的是这些区域是按像素和步长滑动生成的，而没有考虑图像特征。

R-CNN的大体思想就是先使用**启发式搜索**方法对图像进行预处理，搜索出最有可能包含物体的候选区域，然后将候选区域送入卷积层，最后再加上SVM对物体进行分类。R-CNN这样分开执行提取特征、分类、回归、微调这样的任务很消耗时间。一年后在改进版的Fast R-CNN里去掉了SVM，把分类任务移到网络内部，可以同时进行候选区域分类和候选框回归两个任务，且这两个任务在一个CNN网络里共享特征。虽然Fast R-CNN准确率提升的同时速度也大大提升，但启发式搜索找出所有候选区域这个过程仍然很慢。这个问题在Faster R-CNN被提出后得到解决，Faster R-CNN引入了Region Proposal Network(RPN)，将启发式搜索寻找候选区域的任务放在ROI池化层之前，归入到网络内部，这是目标检测领域的一大里程碑式突破。据分析，RPN的出现使得Faster R-CNN相比之前的模型速度至少提高了250倍以上。

**SSD**(**Single Shot MultiBox Detector，单发多盒检测器**)模型去掉了RPN，结合区域选择和特征提取融合到一个独立的深度神经网络中。为了达成合二为一的目的，YOLO和SSD都借鉴了RPN中的锚箱(Anchor Boxes)的思想。SSD使用不同宽高比和比例的一组边界框，并将其应用于多个特征卷积层中去搜索。由于这些特征是通过将图像传递到图像分类网络(类CNN网络)来计算的，故可以在每个卷积层中进行边界框的特征提取，并对每个边界框中的每个目标物体进行分类。由于所有计算都封装在一个深度神经网络中，所以SSD可以达到相当不错的速度（SSD300的速度为46FPS）。

**YOLO(You Only Look Once，只看一眼)**系列算法，也是仅仅使用一个CNN网络来同时预测物体的分类与定位。YOLO算法直接将原始图片进行区域分割，使用分割后的图像来预测中心点落在在该区域内的物体。关于YOLO系列模型的具体细节将会在第三章进行详细介绍。

## 本章小结

在两步方法中，区域选择网络起到的作用是给出候选区域，然后再采用R-CNN网络提升检测的准确度同时输出类别。这些模型都选择在卷积层进行区域选择预测，这是因为经过卷积操作后不但图片大小减少，其图片的空间位置对应关系也得到了相当的保留。区域选择方法生成需要考虑区域数量与计算复杂度的平衡，生成的候选区域越多，就越有可能找到该目标物体，但如果详尽地生成所有可能的候选区域会使网络计算变得非常复杂并且速度很慢，因此需要减少候选区域数量。从某种意义上来说，YOLO和SSD使用其他方法代替RPN将其融合到整个网络中去，不过RPN只负责候选区域与候选框的定位而不做类别的预测只是定位物体和背景。对于YOLO和SSD这一类一步算法来说要想要作更精确的预测，还需要在网络设计上做更多的提高精确度的策略。

# 基于YOLO的目标检测方法

本章是全文的重点章节，主要介绍了YOLO v2模型的概念及基本结构，将本文的目标检测模型过程进行了完整的解剖和描述。最后分析对比了该领域现存的几个著名模型与YOLO v2模型的差异。

## YOLO模型概述

YOLO系列模型网络的特点是直接在输出层回归物体的位置和的类别，该模型速度非常快可以实时运行。每次将分析的都是输入图片的整张图片，不会只参考局部，保证了判断时图像参考上下文的完整性，把背景错认为物体的情况少，而且模型很稳定，收敛速度良好，泛化能力强。本节将专注解析关于YOLO所有运行过程和判断方法。

## YOLO系列模型结构发展与变化

YOLO系列的模型是在不断变化并提高的，从2016年初登场的YOLO v1，到2017年的YOLO v2，再到2018年的YOLO v3，其精确度和速度一直在飞速提升。本节将逐步详细介绍YOLO的基本概念和提速策略。

### YOLO v1模型结构概述

前文提到，YOLO模型和Faster-RNN等基于Region Proposal方法的模型不一样，YOLO结构完全是在一个单独的深度卷积神经网络中实现了目标检测，把检测框选择和类别分类放在了一个网络中。由于输入的是一整张图片，直接经过单个网络回归输出的是检测框，所以是端到端的神经网络模型。

YOLO v1模型首先将输入的图片重新调整分辨率固定大小，再将图片分割为7×7的网格。对每个网格来说，如果物体中心点落在该格内，则由该格负责检测这个物体属于。每个网格内含有两个限位框，**限位框**就是勾勒物体四周的目标结果框（图3-1所示），每个限位框用来表示位置与**置信度**，其中是限位框的中心坐标与网格左上角的位移，是限位框的宽与高。为了将这四个参数标准化使其取值落入[0, 1]区间内，最后还需要除以原始图片的长和宽；限位框置信度的含义是有多大把握确定包含有该物体，在后续的计算里与网格种类概率相乘后可以获得限位框包含第类物体的概率并准确对物体画框勾勒。其中指该限位框是否有物体落入，表示限定框与真实框位置的交并比。

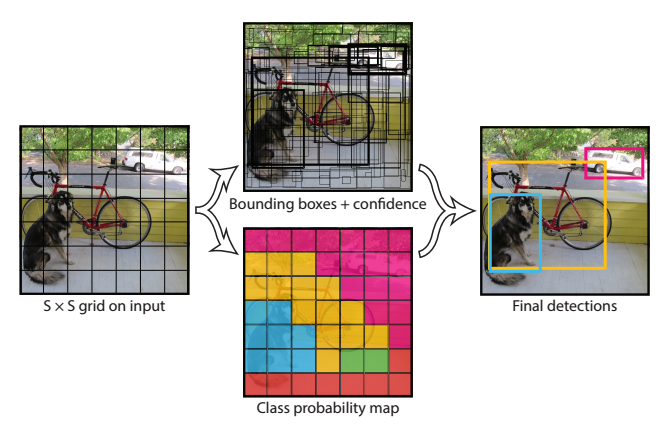


图 3‑1 图片被分割为7×7的网格，每个网格只检测一种类别（图中不同颜色被判定为不同类别），网格只预测中心落在本格的物体，每个物体只有两个限位框（图中黑线框）。由于一个网格负责一个物体，所以一个网格只属于一种分类，即每个限位框在测得坐标和长宽的同时，测得72=49个网格属于20种物体分类的概率。每个网格可以得到2个限位框×(4个坐标+1个限位框置信度)+20个分类概率的张量，因此共得到7×7×30的张量。还需要去掉置信度低的限位框和太重叠太靠近的多余的限位框。

YOLO v1模型受到了GoogLeNet模型的启发，将1×1卷积核跟在3×3卷积层后面，融合不同通道上特征的，在降维的同时保留空间信息。

YOLO v1型采用均方误差作为损失函数，损失函数如图3-2所示：

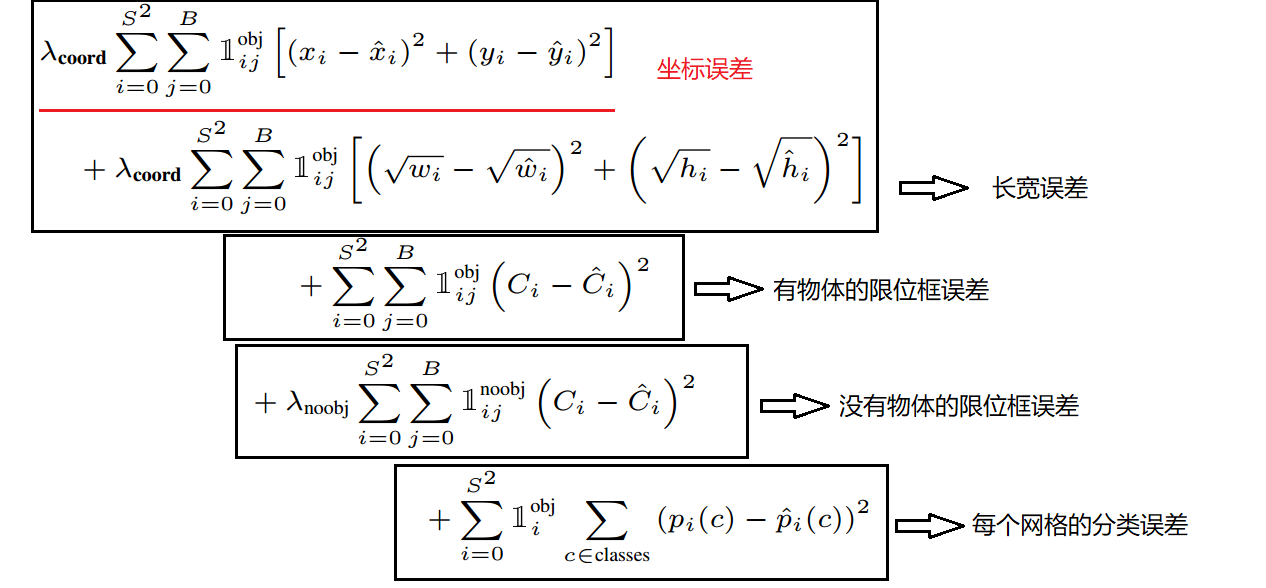


图 3‑2 YOLO v1模型的损失函数设置，采用均方差为基础，引入λx设置不同的惩罚

不包含物体的网格置信度为0，而置信度为0的神经元会快速避免覆盖掉其他有物体的神经元，使得模型久久不能收敛，所以网络对不包含物体的网格进行了惩罚；另一方面，加重限位框坐标位置偏差对损失函数的影响，减少限位框分类偏差对损失函数的影响；在普通测试中发现，较小的限位框的坐标误差往往很敏感，限位框偏离一点就会与真实框在偏差很多（相同的偏差小限位框计算得到的损失函数更大），而大限位框的坐标误差并不敏感，为了均衡限位框大小对损失函数的影响，用长与宽的平方根来进行对比。

### YOLO v2模型结构概述

YOLO v1速度很快，但在定位精确度方面明显低于基于RPN的模型。YOLO v1的另一个缺点在于对小物体的预测不足，由于每个网格只有2个限位框，因此当一个网格落入两个以上物体时，YOLO v1模型就无法预测出这些小物体并且可能会出现定位错误。因此在YOLO v2中使用了多种策略，在提升模型的定位的精准度的同时也要继续保持实时的检测速度。

首先，YOLO v2在模型中引入了可以加快模型收敛防止模型网络参数爆炸的著名的**批正则化层**。免去一定程度上对学习率和参数的初始化进行很多次的尝试分析择取最优的麻烦，有效稳定网络，加快收敛过程，使模型具备良好的泛化能力。并且按理论来说，神经网络学习权重参数的的本质是为了学习输入数据的数据分布，理应对输入层数据分布进行归一化。臭名昭著的**梯度弥散**或**梯度爆炸**就是因为在深层累积学习到的残差在反向传播梯度更新时失效或者变得无限大而使网络无法正常更新，毕竟到除1以外的任何数的幂次最后会变得极小或极大（比如0.15=0.00001），由此每一层的权重和激励函数的导数和返回的残差在不断累乘最后也会变得极小或极大。

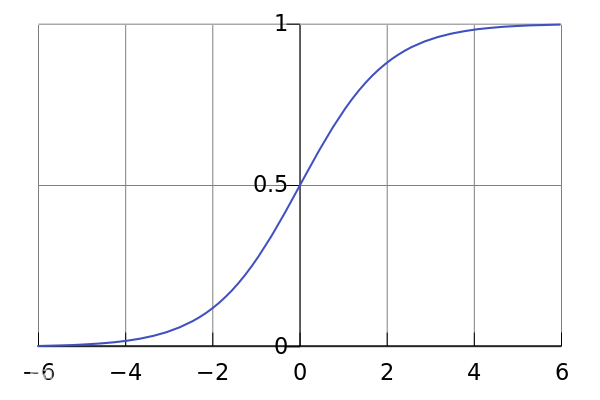


图 3‑3 sigmoid激励函数（也被称为Logistic逻辑回归函数），取值在[0,1]之间，在靠近0的部分增长最快，当绝对值＞5的时候几乎停止增长。避免由于每次输入分布的不同而造成模型久久不能收敛的问题。根据链式传播法则，深层反向传播回来的残差回溯的层数越多，信息损失就越多。sigmoid激励函数只有在靠近x=0的部分导数才不为0，一旦网络中出现0值权重就会导致整个网络整个传播过程被0覆盖陷入瘫痪。

YOLO v2使用了新的限位框生成预测策略。在YOLO v1模型中，是先直接使用全连接层来预测限位框的初始坐标，光凭全连接层来进行预测会导致丢失较多的空间信息，造成限位框定位不准，所以YOLO v2去掉了全连接层，同时引入了新的限位框定位方法。预测偏移值比预测坐标更容易，并使网络更易于学习且精确度更好。所以YOLO v2借鉴了锚箱的思想，改预测限位框绝对坐标为预测限位框中心点相对于对应网格左上角的相对偏移值。

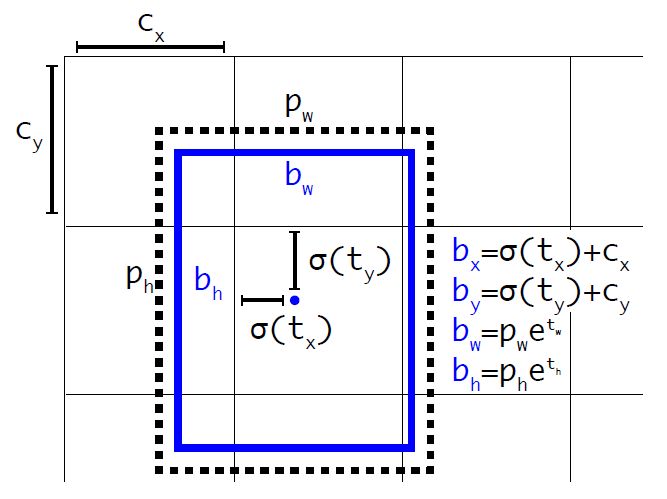


图 3‑4 YOLO v2先验框位置相对偏移预测。YOLO v2借鉴了锚箱的思想。Faster R-CNN模型是人工选取先验预测坐标作为限位框的初始坐标，而没有直接预测限位框的初始坐标，采用锚箱来预测位置偏移和分类置信度，使用9种的候选窗口：三种面积（1282，2562，5122）三种比例（1:1，2:1，1:2）来预测限位框相对先验框的绝对偏移位置。

YOLO v2可以预测到更多物体。YOLOv2的最后一层是一张13×13的卷积特征图，即一张图片最终被分为了132个网格，而YOLO v1是一开始固定大小的图片就被分割为72的网格。YOLO v1中是由每个网格本身来负责预测2个限位，在YOLO v2中改为预测k个限位框预测相对偏移位置和类别概率。根据锚箱策略，如果每个网格可以预测9个限位框，那么总共会预测1521个限位框，而之前的YOLO v1网络仅能预测98个限位框，

如果有更好的初始化锚箱策略，为模型在初始化时选择更好的、更有代表性的先验框宽高，无疑会有更好的效果。Faster R-CNN是使用手工精选的先验框去初始化锚箱，而YOLO v2使用了**K-means聚类方法**来判断需要多少个先验框，和其大概的初始化位置。同时由于大数间的平方差远大于小数间的平方差，这样会使得大限位框会比小限位框计算得到的距离函数更大。因此YOLO v2将K-means聚类方法的距离函数改为和IOU（交并比）相关，和限位框的大小无关，IOU越大两个框相交得越多，通过与IOU来划分聚类。

最后，为了保持复杂度不太高的情况下先验框的平均IOU的比较高，要谨慎地选择k的取值，根据实验最后发现k=5时效果最好，即每个网格最好选择5个限位框，根据实验测试改进后的5个先验框策略与完全使用Faster R-CNN锚箱策略得到的平均IOU是相同的，如果再将先验框提升到9个，即每个网格9个先验框平均IOU会更好，但是网络会更大。并且统计发现聚类方法选择扁长的框较少，瘦高的框较多，即选择长宽2：1的较多。

132大小卷积特征图对于小尺度的物体检测来说可能还是不够。相对于Faster R-CNN和SSD直接在不同尺寸的卷积特征层中使用区域建议策略（Region Proposal）预测不同分辨率图片的不同大小的物体来确保小物体不会被遗漏，YOLO v2参考了Resnet网络的**Residual结构**（如图3-5所示），选择增加一个**通过层**(**passthrough layer**)来得到更精细的特征层，使得邻接的特征被叠加到不同的通道中，经过扩张的特征图再进行下一步检测，加强了网络中图像细小的特征的信息，将高一级分辨率的特征连接到低分辨率，有利于检测小目标。

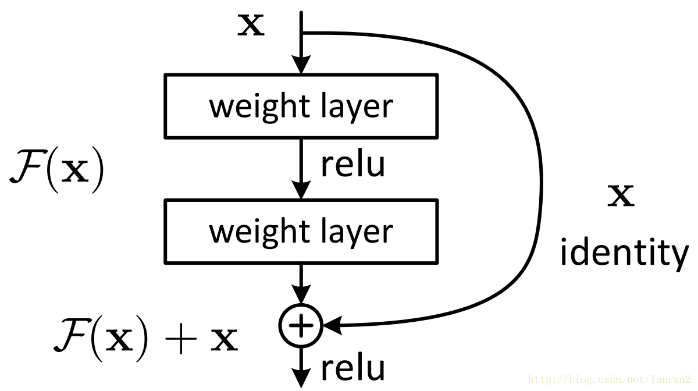


图 3‑5 ResNet网络中的Residual结构。越深层的卷积可表达的特征越丰富越抽象，但经过的网络层越深信息的损益也越多，反向传播的梯度在传播的过程中不断衰减使得错误率反而这个问题在层数很深的网络中很突出，即网络深度增加，网络效果反而变差甚至出现欠拟合。实验发现浅层的网络不容易出现该问题，通过加上浅层的x来保证残差反向传播时尽可能地保存来自深层学习到的梯度信息, 之前的层直接作为输入再次叠加到新层，再次记忆起网络浅层的输入流，。使用该结构可有效减少梯度衰减，配合达百层之多的深层神经网络梯度相关性得到了保持。

YOLO v2为了使模型能够预测不同分辨率的输入图片，模型在训练的时候每隔10个批次会改变一下模型中输入图片的分辨率，由于还使用了因子为32的降采样，所以一般会随机选择是32的倍数的分辨率，最小的分辨率是320×320，最大的分辨率是608×608。因为没有固定输入尺寸而使用了不同输入分辨率的图片来训练，YOLO v2可以适应不同大小的图片，并且即使分辨率大也可以在精确度与速度上取得良好的结果（见表3-1）。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **目标检测网络模型** | **mAP** | **FPS** |
| Fast R-CNN | 70.0 | 0.5 |
| Faster R-CNN VGG-16 | 73.2 | 7 |
| Faster R-CNN ResNet | 76.4 | 5 |
| YOLO | 63.4 | 45 |
| SSD300 | 74.3 | 46 |
| SSD500 | 76.8 | 19 |
| YOLOv2 288 × 288 | 69.0 | 91 |
| YOLOv2 352 × 352 | 73.7 | 81 |
| YOLOv2 416 × 416 | 76.8 | 67 |
| YOLOv2 480 × 480 | 77.8 | 59 |
| YOLOv2 544 × 544 | 78.6 | 40 |

表 3‑1 YOLO v2不同分辨率下的速度与精确度，与其他目标检测网络模型的比较

YOLO v2将可测类别扩展到9000多种，并有效利用了现存的分类数据集作为训练集。目标检测领域的数据集的数据标注要远远比分类数据集的打单属性标签复杂，同理ImageNet分类数据集比VOC等目标检测数据集数量高出很多，并且有众多的维护者和使用者。由于YOLO中限位框的位置预测的是相对偏移，所以可以实现在分类和检测数据集上的联合训练。在这种策略下可以根据检测数据集学习物体的定位及分类，根据分类数据集学习分类。YOLOv2在训练网络时把目标检测数据集与分类数据集放在一起，遇到属于目标检测数据集的图片就基于的分类部分和检测部分的损失函数做反向传播；遇到属于分类数据集的图片就仅传播分类部分的损失。

但是有一个问题需要解决：目标检测数据集的标签太抽象涵盖范围太广，例如“狗”；分类数据集的标注更为细致，例如狗的不同品种。大多数CNN会在最后的全连接层再接一个*softmax*来计算最终的概率分布，*softmax*计算的类别之间是互斥的、完全不相交的，但是融合的数据集之间的类别存在包含关系了，如何融合两类标签成了一个问题。由此YOLO v2提出了**层级分类法**，根据类别间的从属关系建立一颗树，称为**WordTree**（图3-6）。大多数分类数据集的分支关系转化为关系树后全部分类都只是互不相关的子节点。树上兄弟节点都是互斥的，所以可以通过*softmax*计算分类。

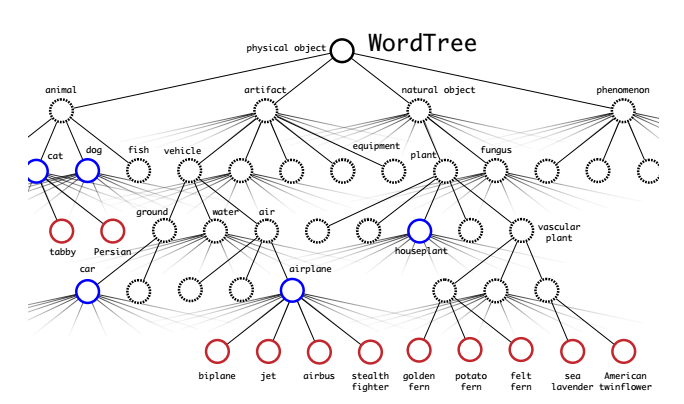


图 3‑6 WordTree的树形结构，同一节点的子节点是互不相关的，因此可以用softmax计算分类概率，分类数据集的分支关系转化为关系树后全部分类都是互不相关的子节点，被标记为节点会继承它所有父节点的属性

WordTree参考了WordNet，对每一个种类，在WordNet上寻找从该种类所在节点到根节点的**最短路径**，将其加入层次树结构。对指定节点的分类概率计算只需要遍历根节点到该节点上的路径做连续乘积。YOLO v2用限位框位置和树结构中的概率和类别作为最终输出结果，在层级分类树结构中寻找连乘乘积最高的路径就是最终分类。注意被标记为节点会继承它所有父节点的属性，因此当YOLOv2遇到新的或未知物体类别，仍然可以判断大的种类。使用树状图的另一个好处是可以融合不同数据集的标签，无论是分类数据集还是目标检测数据集。YOLO v2使用ImageNet和COCO的联合训练，由于分类数据库数量巨大，YOLO v2从分类数据集上得到的训练多过检测数据集，并采用以下策略进行训练：

1. 当遇到检测数据集图片，对于其他损失部分如常操作，而对于分类损失部分，只在当前路径所有经过的节点分类上进行反向传播，不能传播到子节点。
2. 当遇到分类数据集图片，仅传播属于分类部分的损失。同样只在当前路径所有经过的节点分类上进行反向传播。

最终YOLO v2在ImageNet的评估数据集上测试获得很出色的精度与速度，同时还可以以实时的速度检测9000多种其它物体类别。

YOLO v2采用了新的模型结构。大多数深度神经网络目标检测模型是基于VGG-16的，但VGG-16作为特征提取器计算复杂度太高，它的卷积层仅通过一次224分辨率的图片就需要300多亿次的浮点计算。YOLO v2模型是基于GoogLeNet的，GoogLeNet比VGG-16快，其前向传递只需要85亿次浮点计算，但准确度稍低。所以在YOLO v2中采用了全新的**Darknet-19网络**，Darknet-19顾名思义有19个卷积层，且其只需要55次浮点计算，定位准确率也非常不错。Darknet-19吸收了很多其他网络比如VGG模型的结构的优点，在网络最后使用了**全局平局池化**操作来预测，输出的通道数等于每个网格的锚箱限位框个数k×(2个相对偏移坐标+2个相对偏移长宽+置信度+分类概率向量) ，即：

YOLO v2模型是使用Darknet-19作为预训练模型，最终YOLO v2在ImageNet上取得了不错的定位准确率，并且速度为67FPS。

### YOLO v3模型结构概述

YOLO v3是在2018年3月底释出的YOLO系列第三代模型，YOLO v3可以比SSD速度快三倍并且拥有一样的精确度。在此之前YOLO在定位小物体的精确度上都逊色于Faster R-CNN及SSD，现在YOLO v3不仅远远快于其他目标检测模型，其小物体预测的精确度都有了显著提高，背景误判为物体的误检率低也降低很多。从图3‑7可以看到，YOLO v3 不论在精确度还是在速度上，都领先于其他模型。

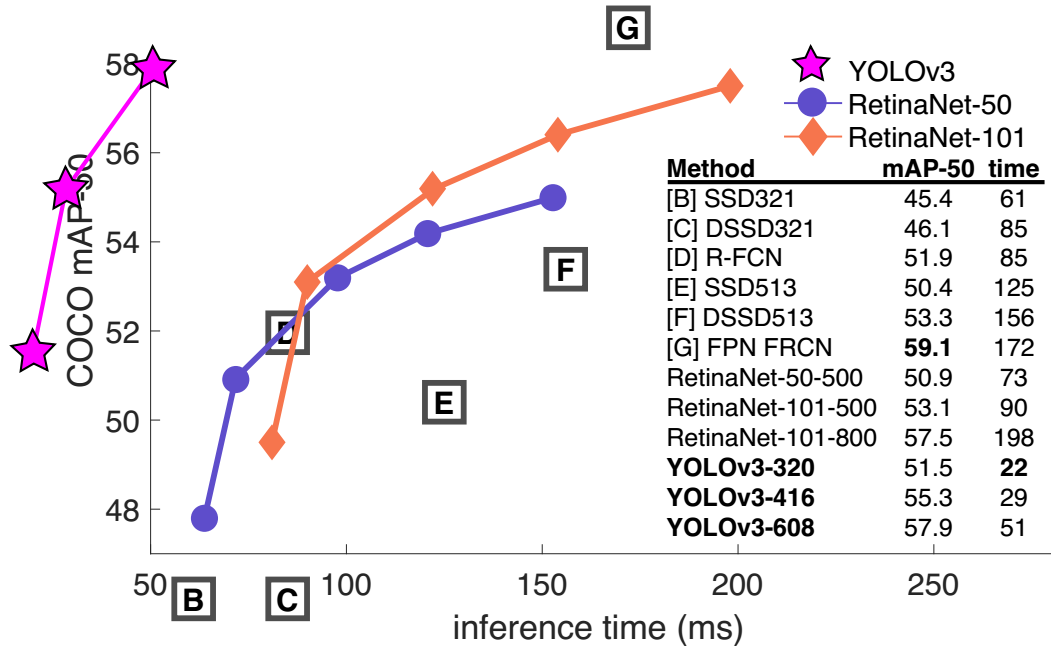


图 3‑7 YOLO v3与其他模型的精确度（单位：mAP）和速度（单位：ms）的对比

从YOLO v1开始，实验就发现模型对小物体预测效果不好，这很大程度上是由于随着网络的加深对输入进行降采样时造成细粒度特征的损失即微小像素被粗糙地池化了，为了弥补这一点，YOLO v2使用了一个类似Residual的回溯连接结构，连接来自上一层的特征映射以补充被模糊掉的浅层网络的特征，但是，YOLO v2的架构仍然缺乏现在大部分目标检测网络最先进的算法中的一些重要元素，YOLO v3整合了所有的这些元素得到了新的提升。

YOLO v3网络更复杂了，其底层体系结构从最初的19层到Darknet-53的53层，并且在此上总共添加了106层完全卷积层作为最终结构，其中有残余跳过连接结构(residual skip connections)和上采样层，这些结构的中心思想都是与上一层级联保留上一级的特征信息，有助于检测小物体的细微的小像素特征。

YOLO v3最显著的特点是它能够以3种不同的比例作为预测器，即预测器从1个增加到了3个，YOLO v2只有1个大小为132的特征图，而YOLO v3现在有3个大小分别为132、522、262的特征图，可以分别预测不同尺寸的物体。这使得YOLO v3的可预测限位框是YOLO v2的可预测限位框的10倍，能预测的物体更多了，但同时速度也相应变慢——不过速度足以应用于实时检测。同时误差函数也进行了变更，采用多分类函数*logistic*函数来对置信度和类别进行回归，代替了原来的二分类函数*softmax*。

YOLO v3更准确了，但是也更复杂了，需要的计算也大大增加，所以本文没有选择YOLO v3，而选择更轻的YOLO v2模型。

## 本章小结

本章主要介绍了YOLO系列模型的基本概念以及在预测过程中模型所使用的策略细节和计算方法。按照时间顺序详细地描述了YOLO系列模型在YOLO v1、YOLO v2、YOLO v3使用不同提高模型精确度和速度的改进策略时的过程及原因。

YOLO v1是最精简的9层网络，但是结构很简朴，速度可能是最慢的，但是它是YOLO系列的开山之作；从YOLO v2开始吸取其他模型的优点，精确度和速度都比YOLO v1提高很多，达到了速度与精确度的平衡；YOLO v3极大地弥补了定位精确度不足的问题，但相对来说最为复杂，计算量最大，网络也最深体积最大。因此，本文通过综合考虑，选择了最适合在移动端运行的YOLO v2模型。

# Android人脸实时检测应用设计与实现

本章主要介绍包括系统整体设计、模型设计以及系统内各功能模块的设计与界面展示。

## 系统整体设计

### 开发环境简介

本文中设计实现的Android端人脸实时检测应用使用的开发工具是Android开发平台Android Studio，使用的语言是Java与C语言。

**Android Studio**是Google官方释出的用于原生Android应用程序开发IDE，2018年Google释出了最新的Android Studio 3.1稳定版。Android开发另外还可以使用Eclipse，Eclipse是一个开放源代码的软件开发项目，由于Android从一开始就是用Java语言写的，所以Eclipse不仅可以开发Android应用还用来可以开发Java与JavaWeb应用。本文使用Android Studio进行应用开发。

**Java Native Interference（JNI）**是使得Java可以在代码中调用其他语言如C，C++运行在Java虚拟机（JVM）中的编程框架。JNI在Java 1.0就已经存在了，由于Java的跨平台特性，使得Java与本地方法的互相调用能力很差，一旦平台改变或者本地方法及库有改变的话，需要对其进行重新编译。JNI的出现使得Java对于本地方法的调用独立于平台的，并支持从动态共享库加载代码。但是需要注意的是，JNI在语言调用的时候开销是非常大的。

Android **NDK(Native Development Kit)**是一个工具集，NDK通过JNI调用使得可以在Android上使用C和C ++等语言以本机代码实现部分应用程序。众所周知，C/C++语言生成的文件不容易被反编译，而Java生成的文件则相反。并且大部分的开源库都是用C/C++代码编写的，所以有了NDK，Android可以更方便地利用原生代码，并将其移植到不同的平台上。

### 应用整体架构

应用整体将分为五个步骤来构建：

1. 图片输入模块：来自拍照或者相册，并进行预处理（旋转到正确角度）。
2. 人脸检测模型构建：使用人脸数据重新训练并改进模型。
3. JNI调用本地语言模块：调用基于本地语言构建的人脸模型，优化JNI调用过程。
4. 移动端模型优化模块：安卓arm系列CPU计算能力弱于PC，需要对模型计算进行一定的优化。
5. 主界面显示模块：Android端应用的构建。

系统设计流程如图4-1所示。



图 4‑1 应用整体架构流程图

## 基于YOLO v2的人脸检测模型设计

本文使用的人脸检测模型是基于YOLO v2的模型的，模型结构图4-2所示。一共14层，开头先由6组卷积层与最大池化层组成，然后接2个卷积层3×3的卷积核提取特征减少参数，最后再加上一个1×1的卷积层降维，最终在得到13×13×48的张量上作类锚箱操作预测，参考了YOLO v3中的scale层，把原来只有5个内置限位框预测的锚箱策略改成有8个限位框预测的锚箱策略，大大增加了可预测物体的个数。

其中初始化锚箱尺寸和大小使用(16,16)，(32,32)，(64,64)，(128,128)，(256,256)，(312,312)，(256,256)，(312, 312)等8组高与宽的限位框作为先验框大小。



图 4‑2 基于YOLO v2的模型改进后的结构

由模型图4-2可知，前6组卷积与池化层的组合目的在于学习特征，选择的激活函数均为*leakyRelu*，即单侧激励抑制函数：

*，*

*leakyRelu*函数的好处在于线性函数计算远远快于非线性，同时保持了相对的稀疏性，不像非线性函数一样函数值堆积在0和1附近并且导数值也小于0.25堆叠在[0, 0.25]的区间内。并且为了防止x落在负半轴的时候被完全抑制，*leakyRelu*还添加了一个常数系数使函数值不会完全为0，这样即使学习率大也不会造成因为激活函数值为0导致链式法则连乘后权重更新值为0。

从模型超参数选择上说，模型采用了*darknet-*19的预训练模型作为权重初始化参数，选择的动量梯度更新，每10批次改变图片曝光度等来加强模型泛化能力。学习率一开始为0.0001，30000次的时候学习率变为0.00001。由于批次大小尽量改为能使显存的利用率在50%左右的大小，这样即不会因为显存使用小而请求多造成死机，因为批次大一些时梯度更新的扰动情况少，避免一定程度上的局部收敛。本文所用显卡显存2G十分有限，因此本文每次投入训练的数据量都很小，一开始是32张/批次，后来改为4张/批次，由此设置为最高训练到100,000次停止。

在经过62000次迭代后停止了训练，模型测试人脸检测效果如图4-3所示。

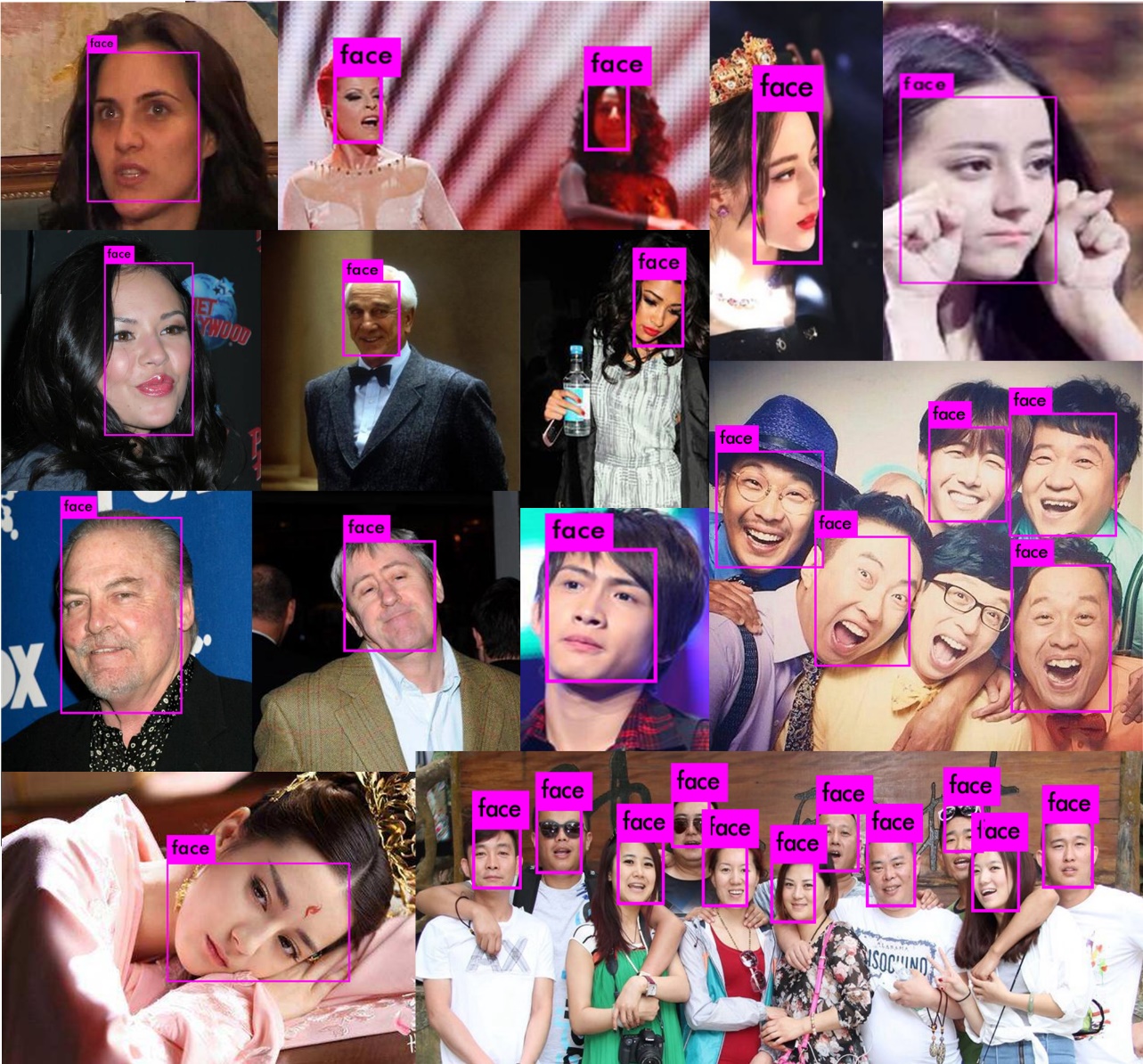


图 4‑3 本文模型的人脸检测测试效果

并将模型放在测试集上进行测试，本文测试环境为Linux 16.04，安装了显卡驱动与Cuda9.1与cudnn7计算库，所使用的显卡为GT740m，位宽64位，计算能力为3在Nvidia显卡中低于平均的3.5。结果如下：

图 4‑4 模型正确率(AP)随批次变化的折线图

图 4‑5 模型定位精确率(IOU)随批次变化的折线图

可以看到在训练44000批次后模型已经接近不错的效果，IOU和AP都在正常范围内波动，例如在训练46000批次后，IOU为61.95%，而AP为88.65%。在本文这样显卡性能较弱的情况下，仍然能保持在200毫秒左右检测出结果。同时在弱光照、模糊、不同对比度、脸部倾斜、中小型脸孔、侧脸等不良检测条件下检测效果依然不错，说明本模型的鲁棒性与泛化性很好，而且准确度和速度也很出色。

## 功能模块设计

本应用的功能模块主要分为图片输入（拍照）模块、JNI本地调用模块、移动端模型优化模块、及安卓应用构建与显示。图片输入拍照模块与JNI本地调用模块由于不在本文讨论范围内，故略去不谈，下面来介绍一下其他功能模块。

### Android端模型优化模块

由于本文选择的模型是基于C语言编写的，故对于Android端C语言模型优化与加速有以下几种优化方式：

1. ARM的SIMD指令优化；
2. ARM的GPU优化，比如OpenCL；
3. 其他加速库。比如Facebook的NNPack，腾讯的ncnn加速库等，还有OpenBLAS等。

使用SIMD指令优化需要较高的汇编能力，而OpenCL更多是作为一种标准；NNPack对于多线程的支持并不好，它在单线程上能力更出众；ncnn是针对底层指令进行优化的，而且支持caffe模型直接转换到移动端实现应用快速落地，但是只针对常用的神经网络层进行了编写，其他层比如YOLO的锚箱层还是需要自己书写指令；本文尝试使用OpenBLAS但是交叉编译没有通过；综上所述，本文最后选择了最简单易试的OpenMP多线程，在小米6上测得时间在1s左右。

本文模型还有另一种实现方式是通过Java编写。由于Android是基于Java书写的，所以可以使用同出于Google之手的TensorFlow来书写，Google在2017年开放了TensorFlow Object Detection API，里面就包含Faster RCNN、R-FCN、SSD等目标检测方法的实现。同时还有转为移动设备定制的TensorFlow Lite，不过里面的方法不是很全面。需要注意的是TensorFlow的学习曲线很陡而且由于是多人维护，代码书写比较复杂。

### Android应用构建与显示

## 本章小结

本章主要介绍了基于YOLO v2的人脸检测模型构建的应用整体设计及各功能模块，以及模型的效果和内容演示，同时提出了模型可以进一步优化的几种策略。

# 总结与展望

## 本文总结

### 本文的主要工作

本文主要研究的是基于YOLO v2的人脸检测模型Android端应用的实现，主要工作内容有以下几个方面：

1. 基于YOLO v2的人脸检测模型的训练及优化改进：手工整合了近3000张人脸数据，将其数据标签并转换为YOLO系列所使用的VOC格式。微调YOLO v2的结构，尤其改变最后三层卷积层的卷积核个数，并且在后一层候选区域提取时锚箱的个数改5个为8个手动设置大小的预置框。模型共训练了62000批次停止。
2. Android端模型移植：本文选择将C语言书写的模型移植到Android端，通过Android-ndk及JNI访问本地语言。
3. Android端模型计算加速与优化：由于是C语言编写的模型，可以使用指令加速和GPU加速，或者现存的加速库等对其进行加速。
4. 手机摄像图片处理：Android端的图片输入输出流处理。对部分手机拍摄图片的角度、分辨率的处理。
5. 应用设计与实现：完成人脸检测在Android端界面设计与逻辑实现。

### 本文的主要创新点

本文基于YOLO v2的人脸检测模型Android端应用的创新点主要在于：实现了Android端模型存于本地运行调用。一般商业应用会选择模型保存在服务器，通过网络将结果传输到手机。模型保存于本地可以实现离线调用，并且对于实时检测人脸来说，传输每一帧图片花费的流量太高昂并且需要良好的网络条件。

## 展望

事实上YOLO系列模型虽然解决了速度的问题，但是由于去掉了RPN它们仍然存在以下问题：

1. 定位的准确度及检测精确度较低。这是RPN主要负责的地方，虽然计算消耗很大步骤很繁琐。
2. 细粒度微调程度不如有RPN的模型。
3. 对不同大小尺寸的适应性下降。即对小物体的检测能力弱于有RPN的模型，Faster R-CNN与SSD对多尺寸特征的处理更细致。

虽然本文实现了基于YOLO v2的人脸检测模型Android端应用，但仍有许多不足之处需要改进：

1. 模型的浮点计算加速模块亟待完善。尤其是针对卷积中矩阵乘法进行指令底层优化，包括SIMD指令优化及GPU优化在内都需要做更多尝试。
2. 需要对人脸实时检测的性能进行优化。由于手机内存及计算能力限制，本文在尝试实现人脸实时检测时固定只允许检测出5张脸，并且设置了较低的分辨率以保持应用能顺畅进行。如果要进行优化可能需要再次提高模型的速度和降低计算耗时，并对视频流进行新的处理。
3. 模型需要对小物体的检测能力还是比较弱，即对小脸检测能力不强。可能是由于YOLO v2只在最后一层卷积层进行了一次浅层细粒度特征和高层抽象特征进行特征重排，YOLO v3中总共进行了3次锚箱操作在不同大小不同深浅的特征图上进行候选区域提取，可以尝试借鉴或引入新结构。

# 致谢

感谢我的老师支小莉与研究生学长张强，他们对本文提出的指导性建议与改进起到了非常大的帮助。感谢我的父母，同学与室友对我平日里的支持和关怀，感谢学校给我们的宝贵的学习机会与学习环境，在此致以我最诚挚的感谢。

# 参考文献

# 附录：部分源程序清单