

文章编号:1007-2780(2019)06-0613-06

基于 YOLO 和嵌入式系统的车流量检测

马永杰*, 宋晓凤

(西北师范大学 物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:城市道路普遍存在机动车、非机动车、行人的人车混行路段,车辆目标的准确识别与统计成为视频方法检测混合交通流量的关键问题。本文提出了基于深度学习 YOLO(You Only Look Once)的车流量检测算法。用 YOLO v2 检测道路上移动的目标,对检出目标中的车辆目标进行识别与筛选,设置感兴趣区域,在车辆目标经过感兴趣区域时计数,并用核相关滤波器跟踪车辆,避免车辆重复计数;在 ARM 上利用该算法实现了混合交通视频中的车流量检测。测试结果表明,该方法中车辆的检测、跟踪、计数结果良好,可应用于混合交通中的车流量检测。

关键词:深度学习算法 YOLO v2;核相关滤波器;车流量检测;嵌入式 RK3399

中图分类号:TP29 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20193406.0613

Vehicle flow detection based on YOLO and embedded system

MA Yong-jie*, SONG Xiao-feng

(College of Physics and Electronic Engineering, Northwest Normal University,
Lanzhou 730070, China)

Abstract: For the mixed traffic of motor vehicles, non-motor vehicles and pedestrians in urban roads, the accurate identification and statistics of vehicle targets become the key issues in video detection of mixed traffic flow. A traffic flow detection algorithm based on deep learning algorithm YOLO (You Only Look Once) was proposed in this paper. YOLO v2 was used to detect moving targets on the road, the region of interest was set up, the vehicle targets passed through the region of interest were counted, and the vehicles were tracked with the kernel correlation filter to avoid repeated counting. The traffic flow detection in mixed traffic video was realized by using this algorithm on ARM. The test results show that the results of vehicle detection, tracking and counting by this method are good and can be applied to the detection of vehicle flow in mixed traffic.

Key words: deep learning algorithm YOLO v2; kernelized correlation filter; traffic flow detection; embedded RK3399

收稿日期:2018-11-16;修订日期:2019-02-26.

基金项目:国家自然科学基金(No.41461078);西北师范大学科研能力提升团队项目(No.NWNU-LKQN-1706)

Supported by National Natural Science Foundation of China(No.41461078);Northwest Normal University
Research Capability Improvement Team Project(No.NWNU-LKQN-1706)

* 通信联系人, E-mail: myjmyj@nwnu.edu.cn

1 引言

车流量检测是智能交通系统的关键技术,目前热门的检测方法是基于大数据与机器学习的,但大数据需要经历长期的数据收集,并需要车辆使用特定的软件,如滴滴、快的、美国的优步等,而机器学习的检测方法设备简单、准确率高,因此成为一个主要的研究方向。

深度学习是一种特殊的机器学习方法,在目标检测方面比传统的检测方法与浅层机器学习模型都有着更高的准确率与更好的检测结果。深度学习应用深度卷积神经网络进行大量的有监督训练来获取图像中的车辆特征,从而检测出车辆。2012 年 AlexNet 模型^[1]的出现使深度学习获得了巨大的突破,该模型具有良好的分类优势,但不适合目标检测;Girshick 等人在 2013 年提出 R-CNN^[2]方法,可以应用于目标检测,但是检测速度不够快;Redmon 等人在 2016 年提出 You Only Look Once^[3](YOLO)对象检测方法,在高性能 GPU 上达到了实时检测,但是准确度不高;2017 年 Redmon 等人在改进 YOLO 后提出 YOLO v2^[4],又在 2018 年在 YOLO v2 基础上再次改进提出 YOLO v3^[5]。

由于嵌入式系统的便携性和低功耗,基于嵌入式系统的车辆检测应用也越来越广泛,如自动驾驶、无人机、智能机器人、军事等领域^[6]。但大多数嵌入式设备可用的计算资源受限于低功率的嵌入式 GPU 或有限存储器的嵌入式 CPU,因此,要在嵌入式设备上实现车流量的实时检测仍然是一个很大的挑战^[7],而基于深度学习的嵌入式车流量检测方法更具研究价值。

本文在 RK3399 嵌入式芯片上用深度学习算法 YOLO v2 检测车辆,并用核相关滤波器(KCF)跟踪车辆,提高了车辆自动统计的准确度,成功地实现了车流量的检测。

2 YOLO v2 检测车流量算法与移植

虽然深度学习框架也可以移植到嵌入式上进行训练,但是嵌入式的 CPU 与 GPU 不适合训练模型,若能准确地检测出目标才具有更大的应用价值。本文基于嵌入式的车流量检测算法主要依

赖 OpenCV 实现,由 4 部分组成:车辆检测算法、感兴趣区域、计数、跟踪算法。检测算法需要准确的检测出车辆,并准确地对汽车与其它目标分类。本文通过 OpenCV 3.4.3 的函数使用 YOLO v2,在每个车道单独设置感兴趣区域,只在感兴趣区域中显示出 YOLO v2 的检测结果,并进行车辆的跟踪与计数,在 YOLO v2 检测出汽车时计数才会改变。而跟踪算法能保证同一辆车在连续的几帧内驶不出感兴趣区域时,不会被重复计数,故准确地计数需要检测的准确与跟踪的准确。

2.1 YOLO v2

在获取图像后先进行图像的灰度化处理,然后用 YOLO v2 进行检测车辆。YOLO 在输入的图像中回归预测目标^[8],有效缓解了 R-CNN 的计算复杂度,并且比 R-CNN 有着更显著的速度优势,但检测精度方面明显低于 R-CNN。YOLO v2 与 YOLO 相比,网络架构中没有完全的连接层。YOLO v2 在特征图上用滑窗进行采样,在每个滑窗中心应用 k-means 聚类训练预测出不同比例的预测框,这样提高了建模精度,也使得网络的训练过程更加容易。YOLO v2 使用 CNN 网络架构 Darknet-19。Darknet-19 包含 19 个卷积层和 5 个最大值池化层^[9],需要 85.2 亿浮点运算,可以在 Nvidia Titan-X GPU 上以 67 f/s 进行物体检测。

YOLO v2 将输入图像分成 $S \times S$ 个网格,用置信度分数表示对每个落入网格的目标的预测,并得到多个目标预测框,对预测框特定类别的置信度分数进行筛选得到最终的预测框。用 $\Pr(\text{Object})$ 表示网格单元预测的概率, $\text{IOU}_{\text{pred}}^{\text{truth}}$ 表示目标区域与预测区域面积的交并比, $\Pr(\text{Object}) \times \text{IOU}_{\text{pred}}^{\text{truth}}$ 表示置信度, $\Pr(\text{Class}_i | \text{Object})$ 为每个网格单元预测的 C 条件类概率,则每个预测框的特定类别的置信度分数为:

$$\Pr(\text{Class}_i | \text{Object}) \times \Pr(\text{Object}) \times \text{IOU}_{\text{pred}}^{\text{truth}} = \Pr(\text{Class}_i) \times \text{IOU}_{\text{pred}}^{\text{truth}} \quad (1)$$

故在统计车辆数时,只需要统计出检测出来的 car 类、bus 类、truck 类的个数就行,然后使用跟踪算法避免同一辆车重复计数。跟踪目标由 YOLO v2 的目标预测框框定。目标预测框 b 的中心点坐标用 (b_x, b_y) 表示,宽高为 b_w, b_h 。对应图像网格左上角坐标为 (c_x, c_y) 。 $\sigma(t_x), \sigma(t_y)$ 是预测框的中心相对栅格左上角的横坐标、纵坐标, p_w 与

p_h 是边界框的宽度与高度, e^{t_w} 与 e^{t_h} 为横纵方向上的缩放因子^[10]。 b_x 、 b_y 、 b_w 、 b_h 如式(2)所示:

$$\begin{aligned} b_x &= \sigma(t_x) + c_x \\ b_y &= \sigma(t_y) + c_y \\ b_w &= p_w e^{t_w} \\ b_h &= p_h e^{t_h} \end{aligned} \quad (2)$$

将目标预测框的左下顶点坐标 (x_{lb}, y_{lb}) 与右上顶点坐标 (x_{rt}, y_{rt}) 传递给跟踪算法, 顶点坐标的计算由式(3)给出:

$$\begin{aligned} x_{lb} &= b_x - \frac{b_w}{2} \\ y_{lb} &= b_y - \frac{b_h}{2} \\ x_{rt} &= b_x + \frac{b_w}{2} \\ y_{rt} &= b_y + \frac{b_h}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 感兴趣区域与计数

根据车辆的速度与摄像机的角度, 对每个车道单独设置感兴趣区域(ROI)。使目标的中心在经过 ROI 时正好落在 ROI 中, 但感兴趣区域又要足够的狭窄, 使目标在下一帧时尽可能地驶出 ROI。设 ROI 左下顶点坐标为 (x_{rlb}, y_{rlb}) , 右上顶点坐标为 (x_{rrt}, y_{rrt}) , 在中心位置满足式(4)时, YOLO v2 在检测出 car 类、bus 类、truck 类 3 类时计数加 1:

$$\begin{cases} b_x \in (x_{rlb}, x_{rrt}) \\ b_y \in (y_{rlb}, y_{rrt}) \end{cases} \quad (4)$$

2.3 核相关滤波器跟踪算法

为了避免车速太慢行驶不出感兴趣区域而重复计数, 应用核相关滤波器(KCF)对车辆进行跟踪。KCF 跟踪算法基于岭回归函数, 利用循环矩阵在目标区域设置采样窗口进行循环移位, 使样本具有循环特性, 再使用循环矩阵训练分类器, 这样可减少存储与计算量^[11-13]。但是 KCF 在跟踪目标时在严重遮挡、尺度变化、相似目标干扰时会出现跟踪失败的情况, 而不能进行长期目标跟踪。本文将感兴趣区域设置的更狭窄, 从而也可避免长期跟踪。在检测车辆的中心进入感兴趣区域前的一段位置时, 对 KCF 进行初始化, 即将前一帧目标的跟踪信息去除, 这个值 k_{int} 根据视频中的车速确定。初始化的区域如式(5)所示:

$$\begin{cases} b_x \in (x_{rlb}, x_{rrt}) \\ b_y \in (y_{rrt} - k_{int}, y_{rrt}) \end{cases} \quad (5)$$

2.4 算法的移植

图 1 是本文基于 RK3399 开发的检测系统框图。RK3399 有 6 个内核, 分别为 2 个 ARM Cortex-A72 核和 4 个 ARM Cortex-A53 核, GPU 采用四核 ARM 高端图像处理器 Mali-T860。算法在 ARM 上的调用需求与 PC 一样, 需要操作系统与软件, 操作系统的搭建需移植 U-boot、ARM-Linux 内核、文件系统, 软件需要交叉编译 OpenCV 与 Qt。本文 ARM 平台所用软件为: 交叉编译器 aarch64-linux-gnu、Qt 5.6.1、OpenCV 3.4.3。

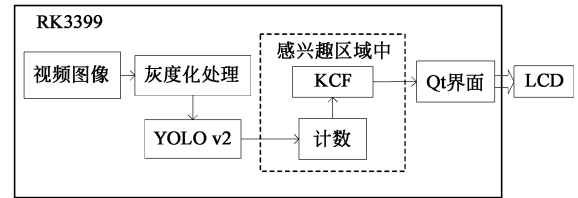


图 1 检测系统框图

Fig.1 Detection system block diagram

在 OpenCV 交叉编译时, 在 cmake-gui 中选择 dnn 模块才能调用 YOLO v2。dnn 模块的编译依赖 protobuf。使用 OpenCV 的 KCF 等跟踪算法需要 opencv_contrib, 在 cmake-gui 中需要设置 OPENCV_EXTRA_MODULES_PATH。嵌入式的存储空间有限, 可以将不需要的模块不进行编译。本文在 cmake-gui 的 WITH 中勾选了 FFMPEG、JPEG、PNG、PROTOBUF、V4L。

系统环境就绪后, 进行算法程序的移植, 根据车辆的数据特征设置网络配置文件, 先在 PC 机上训练好网络, 之后将 yolov2.cfg、coco.names、yolov2.weights 文件移植到 ARM 上。

最后, 将算法程序、图形界面设计程序放在同一文件夹中, 设置前面交叉编译成功的共享库路径, 交叉编译生成 RK3399 上的可执行程序, 并将可执行程序移植到 RK3399 上。

3 算法在嵌入式上的测试与分析

图 2 是系统测试示意图, 液晶屏左侧显示的是检测的情况, 其中 3 个小矩形框为感兴趣区域, 2 个大矩形框为 YOLO v2 的检测结果, 液晶屏右

侧是检测的统计信息,分别为帧数、车辆数、日期。



图 2 系统测试
Fig.2 System test

表 1 是各方法在 RK3399 上检测一帧图像所用的时间,其中 YOLO v2 检测是将文献[14]中的车辆检测算法改成 YOLO v2,跟踪与计数方法不变。

表 2 所示是本文算法与文献[14]中的算法在检测相同视频时的数据。漏检是指有车辆目标却

表 1 RK3399 上各方法检测时间

Tab.1 Real-time detection execution time		
YOLO v2 检测/s	本文算法/s	文献[14]方法/s
120.960	120.899	0.014

表 2 两种检测算法的测试 Tab.2 Test of two detection algorithms			
视频序号	1	2	3
实际车辆数/辆	167	42	295
帧差法/辆	186	33	281
本文算法/辆	165	40	265
帧差法误检/辆	4	0	0
本文算法误检/辆	0	0	0
帧差法多计/辆	25	0	21
本文多计/辆	9	3	15
帧差法漏检/辆	10	9	35
本文算法漏检/辆	11	5	45

没有检测出车辆,误检是指将其它物体检测成车辆,多计是指将同辆车多次计数。

实验结果的分析表明,算法的漏检来自 YOLO v2 会将车辆误检成其他物体或在 ROI 中无法检测出车辆,而多计是因为跟踪算法在摄像机的位置保持不变时,车辆靠近或远离摄像机时,会造成目标的尺度变化而将目标跟丢,在再次检测到同辆车时而被认为是不同车辆,造成重复计数。

图 3 是本文算法检测与跟踪效果,在 13 949

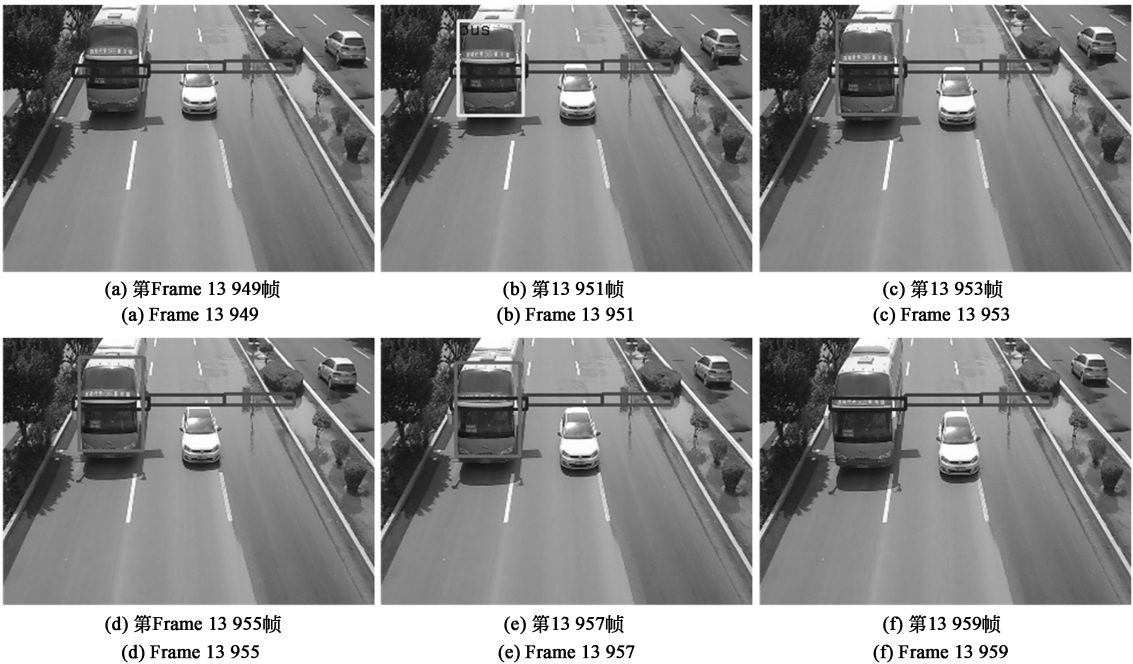


图 3 本文算法检测与跟踪效果
Fig.3 Algorithm detection and tracking effect

帧时公共汽车还未进入分布在道路上窄矩形框的ROI中,在第13 951帧时公共汽车检测到bus,并用白色矩形框出,计数加1,在后面的13 952到13 958帧bus被跟踪,灰色方框表示跟踪的结果,此时计数不变,到第13 959帧时bus驶出ROI。

4 结 论

本文将深度学习算法YOLO v2引入混合交通的车流量检测中,通过设置感兴趣区域(ROI)、

在车辆目标经过ROI时计数、用核相关滤波器(KCF)跟踪车辆实现混合交通中的车流量检测,并在嵌入式平台RK3399上实现了该算法。实验结果表明,采用本文方法在RK3399上YOLO v2能成功地检测出车辆,KCF跟踪算法能在ROI中跟踪车辆保证计数的准确。虽然YOLO v2在Nvidia Titan-X GPU上可达到实时检测,但在RK3399上算法还需要较长的检测时间,未来需要进一步调高算法的检测速度,以实现基于嵌入式和深度学习的车流量的实时检测。

参 考 文 献:

- [1] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks [C]//*International Conference on Neural Information Processing Systems*, California: ACM, 2012: 1097-1105.
- [2] GIRSHICK R, DONAHUE J, DARRELL T, *et al.* Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation [C]//*Proceedings of 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Columbus, OH, USA: IEEE, 2013: 580-587.
- [3] REDMON J, DIVVALA S, GIRSHICK R, *et al.* You only look once: unified, real-time object detection [C]//*Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2016: 779-788.
- [4] REDMON J, FARHADI A. YOLO9000: better, faster, stronger [C]//*Proceedings of 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Honolulu, HI, USA: IEEE, 2017: 6517-6525.
- [5] REDMON J, FARHADI A. YOLOv3: an incremental improvement [J]. arXiv: 1804.02767, 2018.
- [6] TIJTGAT N, VAN RANST W, VOLCKAERT B, *et al.* Embedded real-time object detection for a UAV warning system [C]//*Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Computer Vision*. Venice, Italy: IEEE, 2017: 2110-2118.
- [7] SHAFIEE M J, CHYWL B, LI F, *et al.* Fast YOLO: a fast you only look once system for real-time embedded object detection in video [J]. arXiv: 1709.05943, 2017.
- [8] 薛月菊,黄宁,涂淑琴,等.未成熟芒果的改进YOLOv2识别方法[J].农业工程学报,2018,34(7):173-179.
XUE Y J, HUANG N, TU S Q, *et al.* Immature mango detection based on improved YOLOv2 [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(7): 173-179. (in Chinese)
- [9] 丁明宇,牛玉磊,卢志武,等.基于深度学习的图片中商品参数识别方法[J].软件学报,2018,29(4):1039-1048.
DING M Y, NIU Y L, LU Z W, *et al.* Deep learning for parameter recognition in commodity images [J]. *Journal of Software*, 2018, 29(4): 1039-1048. (in Chinese)
- [10] 周云成,许童羽,邓寒冰,等.基于面向通道分组卷积网络的番茄主要器官实时识别[J].农业工程学报,2018,34(10):153-162.
ZHOU Y C, XU T Y, DENG H B, *et al.* Real-time recognition of main organs in tomato based on channel wise group convolutional network [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(10): 153-162. (in Chinese)
- [11] HENRIQUES J F, CASEIRO R, MARTINS P, *et al.* High-speed tracking with kernelized correlation filters [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2015, 37(3): 583-596.
- [12] 杨德东,蔡玉柱,毛宁,等.采用核相关滤波器的长期目标跟踪[J].光学精密工程,2016,24(8):2037-2049.
YANG D D, CAI Y Z, MAO N, *et al.* Long-term object tracking based on kernelized correlation filters [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, 24(8): 2037-2049. (in Chinese)

- [13] 潘振福,朱永利,周国亮.基于改进核相关滤波器的 PTZ 摄像机控制方法[J].机器人,2016,38(4):420-427.
PAN Z F, ZHU Y L, ZHOU G L. The PTZ camera control method based on the improvedkernelized correlation filter [J]. *Robot*, 2016, 38(4): 420-427. (in Chinese)
- [14] 马永杰,宋晓凤,李雪燕,等.基于嵌入式车流量实时检测算法研究与实现[J].液晶与显示,2018,33(9):787-792.
MA Y J, SONG X F, LI X Y, *et al.* Research and implementation of real-time vehicle flow detection algorithm based on embedded system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(9): 787-792. (in Chinese)

作者简介:



马永杰(1967—),男,甘肃灵台人,博士,教授,硕士生导师,2011 年于兰州交通大学获得博士学位,主要从事进化算法、图像处理、测控技术及应用方面的研究。E-mail: myjmyj@nwnu.edu.cn