

损失值偏大是由于刚开始训练学习到的准确率不高,随着训练次数的增加,模型的性能越来越好.如图7所示是YOLOv2、YOLOv3和R-YOLOv2模型训练损失函数变化曲线图,由图6可以看出对损失函数的改进使得模型性能有一定程度的提升,即R-YOLOv2的损失函数模型优于YOLOv2,且优于YOLOv3的损失函数.

(2) 网络模型的测试

为了测试模型的准确性,使用训练好的模型对3072张从实景中选取的图片进行识别,目标检测以研究重点不同而有多种评价指标,在此采用平均精度均值(mean Average Precision, mAP)来描述检测精度,每秒帧数(Frames Per Second, FPS)描述检测速率,统计检测的结果如表5所示,准确率的变化曲线见图7.

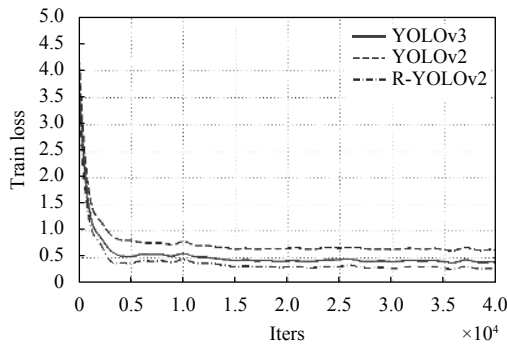


图6 模型训练损失函数对比变化曲线图

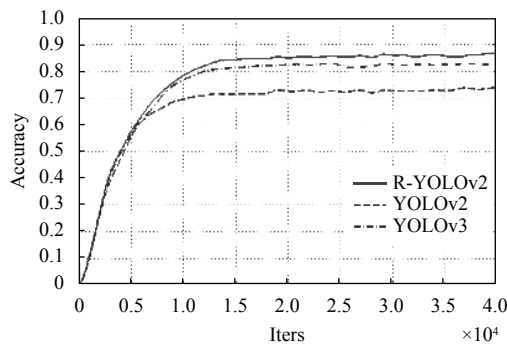


图7 准确率变化曲线图

表5 模型性能比较

模型	mAP	FPS
YOLOv2	75.6	39
R-YOLOv2	84.3	54
YOLOv3	80.1	51

由表5可以看出R-YOLOv2模型性能优于现有算法YOLOv2, YOLOv3, 且较于YOLOv2准确率提高了8.7%. 检测速率提高了15 FPS. 较于YOLOv3准确率提高了4.2%. 检测速率提高了3 FPS, 表明网络结构的改进对mAP和FPS有着提升.

由于刚开始学习率低,图7可以看出改进后的模型R-YOLOv2较YOLOv2在初始准确率都不高,且基本一致,在迭代值达到6000时,R-YOLOv2与YOLOv2差距出现,达到15000次时两者的准确率变换趋于平缓.在改进后的网络模型R-YOLOv2较于YOLOv2, YOLOv3的准确率有一定程度的提高,验证了网络结构的改进对准确率的提升.

如图8所示是部分图像检测结果,图8(a)、8(c)两图是采用原始模型检测的结果图,图8(b)、8(d)两图是采用改进后的模型检测的结果图.结果表明由于R-YOLOv2将网络顶层卷积层输出特征图划分更细,损失函数加入归一化和权值的改变,且使用高细粒度的特征图来检测小尺寸的交通标志,因此较于YOLOv2模型,R-YOLOv2模型对小目标的检测更优.

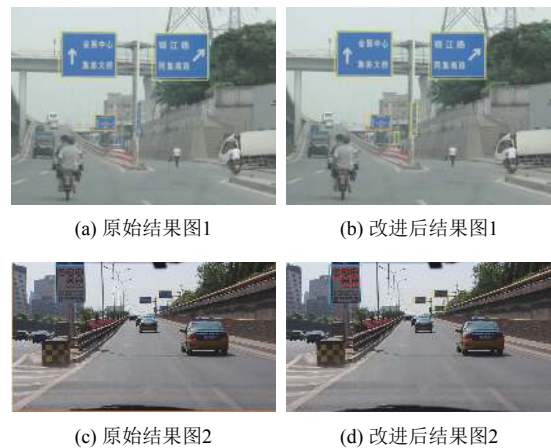


图8 部分图像测试结果

为更好的分析测试结果,设定阈值 $t=0.5$,以保证较高的准确精度.如表6所示即为3种方法的分类结果对比,时间为检测单张图片时间的均值.

从表6和可以看出得到的指示标志和警告标志的召回率最好,达到了75.23%和83.41%,且可以看出改进的模型R-YOLOv2比YOLOv2和YOLOv3都检测速率都快,YOLOv2模型识别每张图片需0.161s; YOLOv3模型识别每张图片需0.041s,而R-YOLOv2

模型识别每张图片仅需 0.016 s, 上述结果显示在网络结构中加入 $1 \times 1 \times 64$ 卷积层, 以及简化网络结构以及减少参数数量, 使得网络的泛化能力和检测速率都有所提升.

表 6 3种方法分类结果比较

		禁止 (%)	指示 (%)	警告 (%)	时间 (s)
YOLOv2	精确	98.02	98.01	92.31	0.161
	召回	90.26	72.66	79.42	
R-YOLOv2	精确	99.25	98.91	98.03	0.016
	召回	89.81	75.23	83.41	
YOLOv3	精确	99.02	98.26	97.64	0.041
	召回	87.64	72.74	80.21	

为了进一步具体的表明 3 种模型的性能, 进行精确率 (P) 和召回率 (R) 曲线图绘制来对实验结果进一步评价, 因此 3 个超类别的 P-R 曲线如图 9 所示.

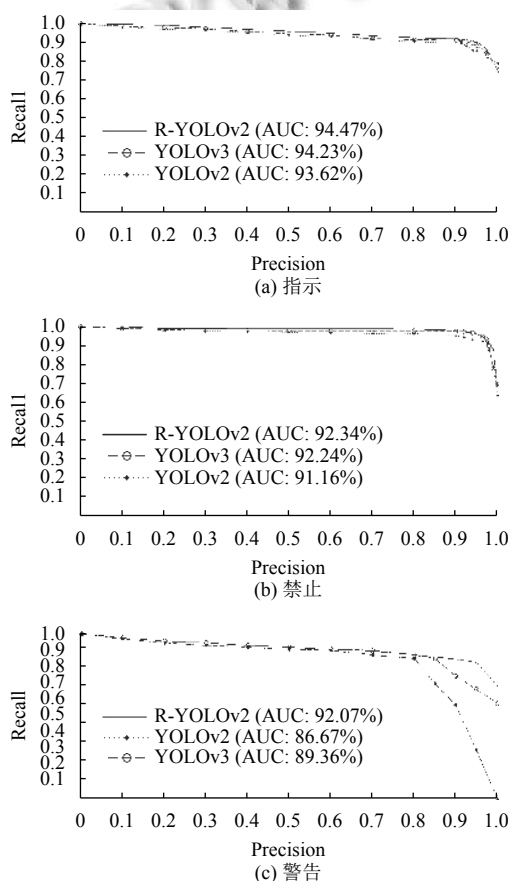


图 9 3个超分类 P-R 曲线图

AUC 值表明的是线下面积值, 从图 9 可以看出 R-YOLOv2 模型较于 YOLOv2 模型和 YOLOv3 模型在

指示、禁止、警告中的 AUC 值最大, 表明 R-YOLOv2 模型的性能比 YOLOv2 模型和 YOLOv3 模型更稳定.

从以上结果分析验证了对模型的改进有效提升了模型检测的准确率和速率.

4 结论

本文先对目标采用了直方图均衡化、BM3D 等一系列预处理, 再改进了 YOLOv2 模型以及其损失函数, 提高了模型的检测性能, 主要是对网络顶层卷积层输出特征图划分更细, 利用高细粒度的特征图来检测小尺寸的交通标志, 模型损失函数加入了归一化处理提高泛化能力和对小目标的检测, 以及将 passthrough 层的池化处理改为拆分对准确率提高了 8.7%, 并简化了网络结构, 运算速率提高了 15 FPS. 本文通过将训练好的模型通过 Ttensortflow 进行实验, 结果表明该模型识别率和实时性优于现有模型. 但有些工作仍需完善, 未能通过对视频的实际操作测试, 以及实车实验, 后续将其重点研究放在与实车结合部分上.

参考文献

- He KM, Zhang XY, Ren SQ, *et al.* Deep residual learning for image recognition. Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, NV, USA. 2016. 770-778.
- Redmon J, Divvala S, Girshick R, *et al.* You only look once: Unified, real-time object detection. Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Las Vegas, NV, USA. 2016. 779-788.
- 周攀. 基于深度学习的交通标志检测与识别算法研究[硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2018.
- Redmon J, Farhadi A. YOLO9000: Better, faster, stronger. arXiv: 1612.08242, 2016.
- 马永杰, 李雪燕, 宋晓凤. 基于改进深度卷积神经网络的交通标志识别. 激光与光电子学进展, 2018, 55(12): 121009.
- Klambauer G, Unterthiner T, Mayr A, *et al.* Self-normalizing neural networks. arXiv: 1706.02515, 2017.
- 曹继承. 基于机器学习的交通标志检测与分类方法研究[硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- 秦恩泉. 基于显著图的交通标志检测方法研究[硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- Trăsnea B, Măceşanu G, Grigorescu S, *et al.* Smartphone based mass traffic sign recognition for real-time navigation

- maps enhancement. Proceedings of 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP). Brasov, Romania. 2017. 1138–1144.
- 10 Armingol JM, de la Escalera A, Hilario C, *et al.* IVVI: Intelligent vehicle based on visual information. *Robotics and Autonomous Systems*, 2007, 55(12): 904–916. [doi: [10.1016/j.robot.2007.09.004](https://doi.org/10.1016/j.robot.2007.09.004)]
- 11 王洋. 计算机网络可靠性优化设计研究[硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2014.
- 12 Gao XW, Podladchikova L, Shaposhnikov D, *et al.* Recognition of traffic signs based on their colour and shape features extracted using human vision models. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2006, 17(4): 675–685. [doi: [10.1016/j.jvcir.2005.10.003](https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2005.10.003)]
- 13 张永涛. 基于机器视觉的路面交通标志识别的应用研究[硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2015.
- 14 江春宇. 交通标志的自动检测和识别[硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2015.
- 15 王超, 孙玉秋, 徐石瑶, 等. 自适应直方图均衡化图像增强算法研究. *长江大学学报(自科版)*, 2018, 15(1): 55–59.
- 16 Fu CY, Liu W, Ranga A, *et al.* DSSD: Deconvolutional single shot detector. arXiv: 1701.06659, 2017.
- 17 鞠荟荟, 刘志刚, 姜江军, 等. 基于低通滤波残差图的高光谱条带噪声去除. *光学学报*, 2018, 38(12): 1228002.
- 18 许晏铭. 视觉主导的无人机航拍目标快速检测技术研究[硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2018.
- 19 Zhang JM, Wang W, Lu CQ, *et al.* Lightweight deep network for traffic sign classification. *Annals of Telecommunications*, 2019, published online. [doi: [10.1007/s12243-019-00731-9](https://doi.org/10.1007/s12243-019-00731-9)]