

# 基于可解释深度学习的公交驾驶员行为感知和安全监测系统

作者：朱明志<sup>2</sup>，朱劭杰<sup>1</sup>，赵冠华<sup>1</sup>，孙奥<sup>1</sup>，陈康捷<sup>1</sup>

指导教师：沈煜

（同济大学<sup>1</sup>交通运输工程学院，<sup>2</sup> 软件学院 上海 201804）

**摘要：**公交驾驶员的异常驾驶行为是导致公交事故发生的重要因素之一。现有公交调度监控系统大多依赖人工视频调阅与事后追溯的方式对驾驶行为进行研判，难以对异常驾驶行为进行实时监控与及时预警。为保证乘客公交出行安全，如何在现有公交调度监控系统基础上，实时监测并预警公交驾驶员的异常驾驶行为成为亟待解决的问题。本研究面向公交驾驶员的异常驾驶行为感知，基于嘉定公交车内实时监控视频，建立基于Inception V3的公交驾驶行为感知模型；融合视频时空位置信息，构建公交驾驶员异常行为评估及预警系统；最后，搭建基于云服务的公交驾驶员驾驶行为安全监控与可视化平台。本项目在现有公交调度监控平台的基础上，基于公交运营监管业务需求，建立了公交驾驶员行为感知与安全监测大数据平台，规范公交驾驶行为，以改造成本低、人力资源成本低的优势，提升现有公交监控视频数据价值，提升公交运行安全性。

**关键字：**公交车驾驶员；行为感知模型；行为评估；大数据平台；公交运行安全性

## 1. 研究背景及意义

公交车已成为城市居民生活中不可或缺的交通工具，而其驾驶员在实现公交车使用价值上起着举足轻重的作用。经调查，上海市嘉定区公交公司对于公交驾驶员的工资支出占公司运营总支出60%以上，公交驾驶员的重要性可见一斑。公交驾驶员作为影响城市公共交通供给质量和服务满意度的双重介入主体，其个体行为在很大程度上代表了城市综合形象和城市包容度水平。近几年引起全社会高度关注的公交车重大伤亡事故时有发生，其中约90%的事故都与驾驶员的不当行为有关。因此，如何保障公交驾驶员驾驶行为的规范也逐渐成为了重点研究方向。

现有的公交车监控系统需要通过监控中心人工感知驾驶员行为，并未发挥出全部效能。而现有的3D行为识别和基于智能摄像头的人脸识别如果运用到公交车监控系统中，需要极其复杂的部署并且耗费大量改造成本。针对以上不足并结合所需，项目组提出基于可解释深度学习模型的公交驾驶员行为感知和安全监测系统，该系统构建了驾驶员行为大数据监控平台，实现了对于公交驾驶员行为感知由人工到人工智能的转变。

2.研究内容

本项目研究内容如图 2.1 所示，进行需求分析后构建行为感知模型进而搭建公交驾驶员驾驶安全检测平台。项目所用数据来源为上海市嘉定区公交车车载监控视频，为驾驶员位置监控。从视频中可以清晰地看到驾驶员手部、头部动作及安全带、方向盘、控制面板等设备。

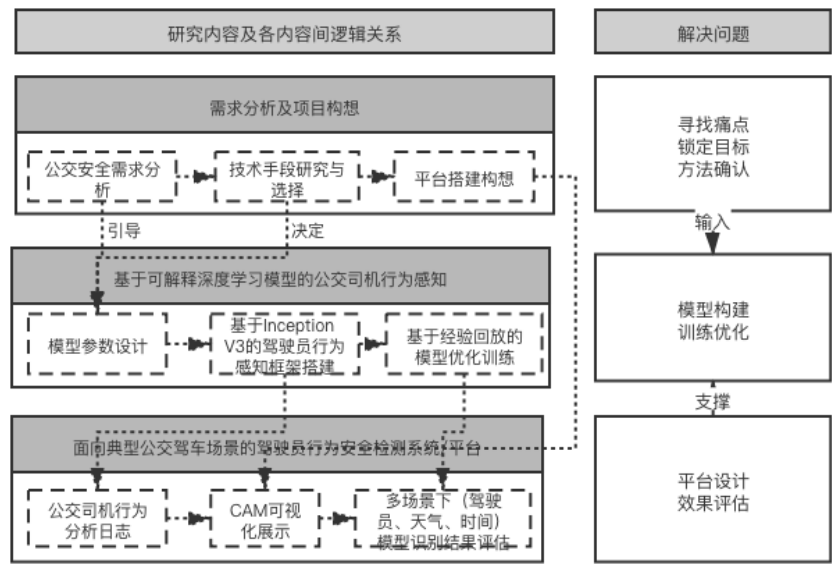


图 2.1 研究内容

从公交安全监管需求出发，项目组将通过公交数据样本采集、数据处理、驾驶员行为感知、驾驶员行为安全评估四个部分完成公交安全数据中台的搭建工作。

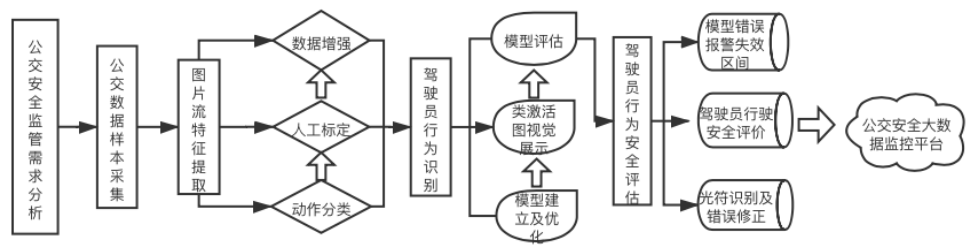


图 2.2 技术路线图

2.1 异构数据处理

数据处理的基础是对驾驶员动作进行分类。在阅读相关论文并将其分类模型与公交驾驶员驾车视频进行对比后，项目组将动作分为如表 2.1 所示八项内容，其覆盖了绝大多数公交车驾驶员的动作，且相互之间具有独立性。

表 2.1 公交驾驶员动作分类

C0	正常驾驶	C1	转弯	C2	离开座位	C3	喝水
C4	擦玻璃	C5	摸脸	C6	整理安全带	C7	双手离开方向盘

接着进行规范动作的人工标定。将驾驶员驾驶中各动作的视频片段人工筛选并截取出来，并以此构建项目数据集。数据集一共有约 40000 张图片帧，对这些图片以标签分组后 8:2 划分为训练集与测试集。为防止过拟合，本研究在训练前对现有数据集做数据增强。将视频中每一帧图片做随机的缩放、旋转、平移和亮度调节。利用这种方法可以阻止模型学习不相关的特征，避免将无关的要素识别为特征。

## 2.2 驾驶员行为感知

本研究利用卷积神经网络提取视频帧中的特征，基于 Inception V3 模型搭建驾驶员行为感知模型，并对视频帧中驾驶员的行为进行感知。采用 Categorical Crossentropy 损失函数对模型进行评价，在最后的全链接层使用 Dropout 层来提升模型的泛化能力，并且设计梯度阈值将权重控制在一定的范围内，防止梯度爆炸。

如图 2.3 所示，左侧为主优化器 Adam 的 4 轮模型训练结果，右侧为副优化器 RMSprop6 轮微弱学习率训练结果，横坐标为轮数标记。随着训练轮数的增加，模型准确度不断增高，损失不断下降，达到了能较精确感知驾驶员行为的水平。副优化器的训练结果表明模型几乎稳定可以结束训练。

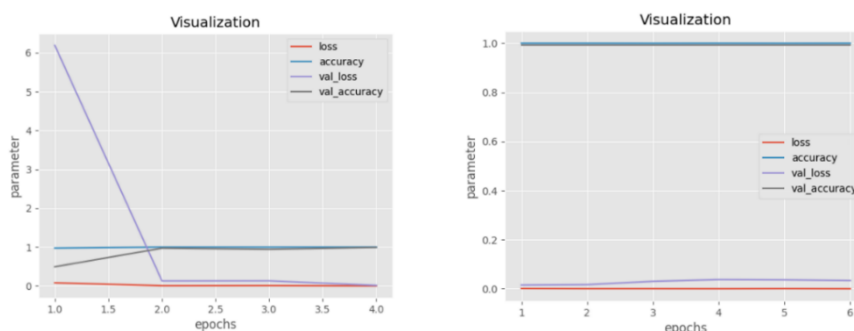


图 2.3 模型训练准确率及损失图

最后，为了展示驾驶员动作的重点，同时解释模型的预测决策，采用类激活映射技术产生类特定显着图。该技术主要通过对神经网络生成每一层格栅的权值进行加权平均，得到图 2.4 所示的热力图。

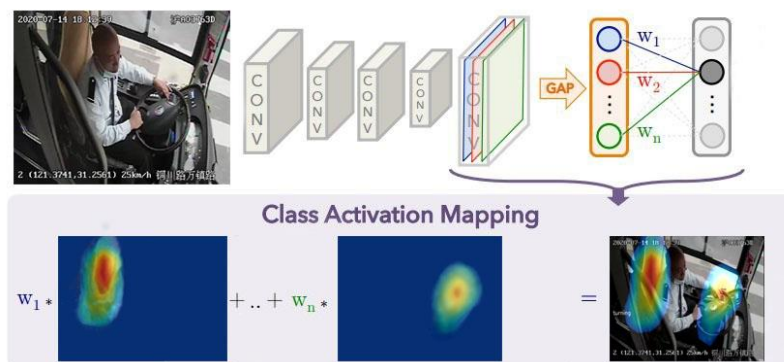


图 2.4 CAM 类激活图

模型输出类激活图可以用来解释深度神经网络的预测决策。利用拟人化的机器视觉技术可以发现机器所专注的区域与人眼专注的区域基本一致，模型做作出预测的依据与人类的直观感受一致。如图 2.5 所示，该模型可以感知驾驶员的各类动作并将模型感知注意点与感知结果输出。

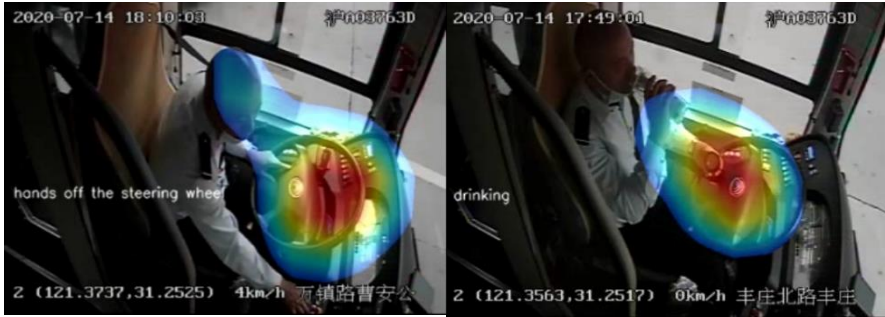


图 2.5 模型训练后输出类激活图

对任何一个输入视频或实时视频流，可使用该模型生成一个带激活类图的已处理视频并生成日志，日志中保存了每一帧图片的驾驶员行为和视频帧中由 OCR 识别出的信息。

### 2.3 驾驶员安全行为评估

对公交驾驶员的安全行为评估分为三个部分，分别是光学字符识别技术（OCR）识别及错误修正、设置报警失效区间以及驾驶员行驶安全评价。

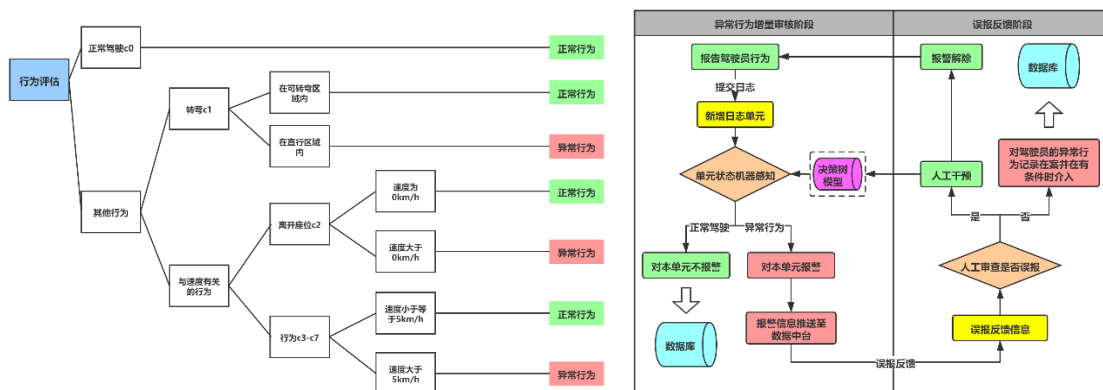
对视频数据进行 OCR 识别，提取视频中的车牌、日期、时间、速度、坐标等信息，并生成日志。如若产生缺失值则选用最上临近法进行填补；对于车牌的异常值，则统计之前所有的车牌记录，填补其中的众数。

同时，模型设置报警失效区间以增大模型的容错率。设置一个活动窗口，从当前帧向前统计 $x$ 帧图片，只有当前帧行为在窗口中出现比例大于 85%时，认为驾驶员行为感知模型感知结果可靠。向前统计的帧数 $x$ 如表 2.2 所示。

表 2.2 不同动作可靠性向前统计帧数

C1	36	C2	12	C3	12	C4	12
C5	12	C6	12	C7	12		

驾驶安全评价则将驾驶员的动作分为正常和异常两个类型。通过建立决策树模型对公交驾驶员行为进行分类，筛选出异常信息，并在公交驾驶安全大数据检测平台中发出告警信息。决策树的结构和报警信息处理流程见下图 2.6 所示。



### 3.研究成果与实例应用



图 3.1 数据中台系统架构

基于公交驾驶员行为感知模型和安全评价体系，项目组利用 **html5** 在服务器上搭建了一个初具规模、功能较完整的公交驾驶安全大数据监测平台。结合成熟的 **API** 接口规范及 **4G** 技术，公交车将摄像头拍下的视频流实时传输到大数据平台，该数据中台能够实时监控并自动感知驾驶员行为同时对其中异常行为发出告警，同时将数据储存到后台服务器以便在需要进行回看、留证。



图 3.2 公交驾驶安全大数据监测平台

平台上的流动日志会实时更新所有线路的驾驶员驾驶信息并且使用者可以查看每辆公交车的实时前方监控、带类激活图的驾驶位监控及位置。平台后台实时输出的类激活图提供了可视化证据，为事故发生后使用大数据平台回溯事故原因提供了途径，

同时也可以辅助调度员检查模型感知是否有误并反馈现场具体情况，增加了系统可靠性。该平台的 Demo 已经被部署在：<http://www.datacenterofbusdriver.cn:8003/>。

#### 4.创新特色

(1) 结合 GPS 数据分析公交安全性与驾驶员行为之间的潜在联系，实现对公交驾驶员侧方位整体动作实时感知，构建典型公交驾驶场景下可解释的驾驶员行为感知模型。

(2) 利用监控视频流的信息特征分析公交驾驶员行为合理性，建立公交驾驶员决策行为评估系统，提高了对于公交驾驶员决策行为的安全评估能力。

(3) 建立了公交驾驶员大数据监测平台，利用低成本的部署形式，解放了大量人力资源，实现了驾驶员与调度中心的实时数据分析，提高城市公交运营管理效率。

#### 5.应用前景

本课题面向公交安全运营需求，构建了基于可解释的驾驶员行为感知模型的驾驶员安全监测大数据平台，在道路交通环境的公交驾驶员数据应用的基础上，利用数据中台将实时视频资料转变为交通数据生产力，反哺驾驶员安全驾驶，配合公交公司评估驾驶员行为，通过数据驱动公交驾驶员安全决策，实现公共交通安全运营。

本平台在实际应用中存在如下几大优势：(1) 低成本、小风险、见效快 (2) 解决了目前公交调度中心与驾驶员信息传输不及时的问题，提高了道路公交运营的安全性 (3) 高效的数据分析能力与可视化的数据平台助力驾驶员的驾驶决策 (4) 提供的报警服务与机器学习可视化等方便调度人员进行数据分析，开发数据应用。

#### 参考文献

- [1]易恬. 公交司机不良驾驶行为影响因素分析及其矫正研究[D]. 西南交通大学, 2016.
- [2]任杰, 李晓虎, 景云超, 朱彤. 基于违规行为的公交驾驶员事故风险因素研究[J/OL]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版):1-10[2021-03-07].
- [3]许华胜, 丁军航, 任秀娟, 孙金娜. 基于 CLM 的驾驶员违章打电话检测系统设计[J]. 青岛大学学报(工程技术版), 2018, 33(02): 37-41.
- [4] Zhang Guangnan, Yau K K W, Chen G. Risk factors associated with traffic violations and accident severity in China[J]. Accident Analysis and Prevention, 2013, 59: 18-25.
- [5] Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., and Wojna, Z., "Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision", 2015.