

# 智能交通系统主要技术的发展

陆化普

清华大学交通研究所,北京 100084

**摘要** 以城市智能交通和智能交通新技术两个角度为重点,盘点了智能交通发展现状,分析了关键技术及其发展状态;探讨了交通大数据平台及其应用、视频技术、分析研判技术、交通控制技术、车路协同技术、城市交通大脑、无感技术等关键技术的未来发展;结合交通强国战略要求,提出了未来智能交通发展的重点方向与建议。

**关键词** 智能交通技术;交通大数据;交通大脑;无感技术;车路协同

智能交通自1973年大力发展以来,早期因受限于通信手段,发展速度比较缓慢。1995—2000年,随着数据传输速度突飞猛进的增长和位置服务技术、通信技术的突破,智能交通发展速度明显加快,通信技术已经不再成为限制因素,此时智能交通系统发展主要受限于计算能力。2000—2010年,智能交通技术全面推进,高清视频、智能分析研判等在城市交通领域得到全面应用。2010年至今随着大数据、机器学习等技术的不断发展,基于人工智能的车路协同、自动驾驶、智能出行等将会成为智能交通系统下一阶段技术发展的关键方向。

随着城镇化、机动化的快速发展,中国城市面临拥堵、污染等一系列严峻挑战;另一方面,由于生活水平的不断提高,人民对美好生活的需求强劲增长,交通供求关系不平衡的矛盾日益尖锐。而道路基础设施和城市空间资源的有限性,决定了仅仅依靠新建交通基础设施提高供给能力难以解决当前面临的严峻交通问题。智能交通技术的应用能有效提高现有基础设施的

使用效率和服务水平,在破解城市交通问题中扮演着不可或缺的重要角色。图1显示了智能交通系统主要发展历程的概况。

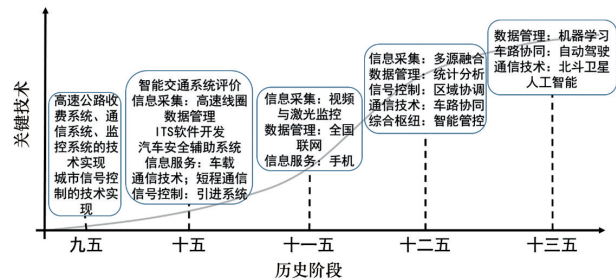


图1 智能交通发展历程与关键技术  
Fig. 1 Development and key technologies of intelligent transportation

## 1 智能交通系统主要技术发展现状

### 1.1 城市智能交通控制技术

交通控制主要是利用计算机管理的交通控制设施

收稿日期:2018-09-25;修回日期:2018-12-08

基金项目:北京市科技计划项目(Z161100001116093)

作者简介:陆化普,教授,研究方向为智能交通、交通规划与政策,电子邮箱:lulp@tsinghua.edu.cn

引用格式:陆化普. 智能交通系统主要技术的发展[J]. 科技导报, 2019, 37(6): 27-35; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.06.004

对交通流进行交通组织优化以及通过调节、诱导、分流以达到保障交通安全与畅通的目的。根据磁感线圈、视频、微波等采集的数据计算交叉路口的实时交通流量,确定信号优化配时方案。就控制范围而言,信号控制可以分为单路口信号控制、干线协调控制(线控制)和区域信号协调控制(面控制)。

在模型方面,当前国内外单路口信号控制从模型到应用已经成熟,干线协调控制也有大量应用型产品和案例,但区域协调控制技术应用案例有限。现有系统主要分为定时控制和自适应协调控制两类,定时区域协调控制目前以启发式算法为主<sup>[1]</sup>,大数据也带来了基于机器学习的区域信号协调控制模型,不过尚难以解释其理论过程<sup>[2]</sup>。自适应信号协调控制是通过检测器实时采集交通数据,生成方案实现实时控制,根据交通饱和度区分为未饱和与过饱和模型两类。未饱和区域通过采用Q学习<sup>[3]</sup>、CTM(cell transmission model)<sup>[4]</sup>、SVM(support vector machine)<sup>[5]</sup>和强化学习<sup>[6]</sup>等模型主要用以减少计算量,实现优化控制。过饱和区域采用启发式<sup>[7]</sup>、分层规划<sup>[8]</sup>和多段规划<sup>[9]</sup>等方法简化模型,使之可以运算。

在系统控制软件方面,目前中国依然主要依靠SCOOT(split cycle offset optimizing technique)、SCATS(Sydney coordinated adaptive traffic system)以及美国、西班牙等研发的系统,国内自主研发的软件应用很少。自20世纪80年代至今,也在尝试建立适合中国混合交通流特性的控制系统,其代表性系统主要包括HT-UTCS和Hicon系统等。HT-UTCS系统<sup>[10]</sup>采用三级分布式控制(点线面),为方案生成+专家系统式的自适应控制系统。Hicon系统<sup>[11]</sup>采用三级控制模式(路口、区域、中心),为分层自适应控制系统。

### 1.2 交通分析研判技术

交通信息分析研判是通过对各类交通数据信息的采集整理、融合、挖掘分析,为交通相关部门提供辅助决策支持,达到分析精准、效率提升、决策科学、管理精细的目的。传统的交通信息分析研判主要是在交通流、交通事故等结构化数据基础上展开纵向、横向分析,找出其变化规律和发展趋势,进而提供辅助决策依据,研判分析的准确性、精准性不高。

近年,基于大数据的分析研判充分利用大量非结构化数据,采用大数据分析技术,能实现跨区域、跨部门、跨行业的信息共享和深度挖掘应用,能完成对交通

运行、安全、监管、资源优化配置等整体态势的评估分析与预警,实现了分析研判技术质的飞跃。

公安部长期以来非常重视交通安全分析研判、交通管控与服务分析研判等内容,其在全国道路交通安全科技行动计划等重大课题研究基础上,逐步推出了全国公安交通管理综合应用平台、全国机动车稽查布控系统、公安交通管理大数据分析研判平台等重大应用工程,并发布《道路交通安全形势分析研判工作规范》等<sup>[12]</sup>相关文件,极大地提高了交通管理工作的科学性、有效性和规范性。

交通运输部也在如“基于大数据技术的交通运输监测预警关键技术研究”<sup>[13]</sup>等相关重大课题研究基础上,不断针对春运等节假日、日常运行等方面发布相关的交通态势分析报告,同时也对国家交通运输宏观发展态势进行预判,为国家、区域交通重大决策和社会信息服务等提供了强有力的支撑依据。

### 1.3 车路协同技术

车路协同系统是基于先进的传感和无线通信等技术,实现车辆和道路基础设施之间以及车车之间的智能协同与配合,从而保障在复杂交通环境下车辆行驶安全、实现道路交通主动控制、提高路网运行效率的新一代智能道路交通系统<sup>[14]</sup>。

在技术方面,车路协同主要包含3类技术:车车/车路通信技术、交通安全技术、交通控制技术。通信技术方面,应用于车路协同的3G/4G、DSRC(dedicated short-range communications)、WiFi等技术均已有相应的理论与模型。交通安全技术方面,视野盲区警告、辅助换道、紧急避撞等已有应用。马小陆等<sup>[15]</sup>设计了一种基于车车通信的嵌入式前向碰撞预警系统;李珣<sup>[16]</sup>、杨晓光等<sup>[17]</sup>基于车路协同技术对辅助换道进行了研究,在保证车辆换道安全的前提下提高道路的使用效率。交通控制技术方面,基于车路协同实时获取车辆状态,通过车速引导实现优化控制也已经有研究和应用<sup>[18-19]</sup>。

在实验方面,20世纪80年代初,中国逐步开始重视运用高科技发展交通运输系统;2006年在进入国家“十一五”计划的第一年,国家高技术研究发展计划(863计划)设立了现代交通技术领域并具体设立了“综合交通运输系统与安全技术”专题研究;2010年确定车联网为“十二五”发展的国家重大专项;2011年“车路协同系统关键技术”项目通过国家“863计划”立项并于2014年2月通过科技部验收。该项目完成了车路协同系统的体

系框架,提出了车路协同系统的集成测试与演示方案,实现了10余项典型的车路协同应用场景,突破了车路协同系统的若干关键技术。在智能网联车路协同方面中国的研究起步较晚。“十五”和“十一五”期间,中国在汽车安全辅助驾驶、车载导航设备等方面进行了研究,基本掌握了智能汽车共性技术、车辆运行状态辨识等核心技术。国家“863计划”课题“智能道路系统信息结构及环境感知与重构技术研究”“基于车路协调的道路智能标识与感知技术研究”等,在河北廊坊等地搭建了车路协同测试系统<sup>[20]</sup>。

#### 1.4 视频分析技术

视频识别技术是使用计算机进行运算和分析,从视频中提取判断决策等有用信息的技术,其利用特定算法提炼视频信号中所包含的内容信息或特定目标物体的运动信息等,实现计算机对于视频的智能理解,使计算机在一定程度上替代人的工作。

对于视频识别技术的研究,由于其算法的复杂度以及目标行为的多样性等原因,发展一直比较缓慢。在国外已有成熟的智能视频监控产品,可以在监控系统中实现异常状态自动报警的功能。中国城市视频监控数量与发达国家相比仍有很大差距。以每千人拥有的视频监控数量作为指标,目前中国摄像头密度最高的北京市每千人拥有摄像头数量为59个,仅仅相当于英国平均水平的80%、美国的60%。而二、三线城市摄像头覆盖率更低。据不完全统计,中国二线城市的摄像头数量为5万~10万个;三线城市则<5万个。就摄像头密度而言,二、三线城市的摄像头密度远远低于10个/千人。

目前,车牌号识别技术作为计算机视频图像识别技术在车辆牌照识别中的一种成熟应用,能在1 s内识别出车牌号码,精确度达99%。在计算机识别技术中,人脸识别已经广泛运用于安防与电子支付领域,功能比较先进的人脸识别系统包括布控、人脸搜索、人脸比对、人脸库及系统管理5大核心功能,其精确度已经高于95%,理论上在未来可达99.7%。

#### 1.5 智能交通新技术

##### 1.5.1 城市交通大脑

城市交通大脑就是在大数据、云计算、人工智能等新一代信息和智能技术快速发展的大背景下,通过类人脑的感知、认知、协调、学习、控制、决策、反馈、创新创造等综合智能,对城市及城市交通相关信息进行

全面获取、深度分析、综合研判、智能生成对策方案、精准决策、系统应用、循环优化来更好地实现对城市交通的治理和服务,破解城市交通的问题并提供系统的综合服务的城市智能交通系统的核心中枢(图2)。



图2 基于人类大脑发展进程建立的城市交通大脑核心功能构成

Fig. 2 Core function composition of urban traffic brain based on human brain development

##### 1.5.2 高精度定位(GPS、北斗定位)

北斗三号卫星经过在轨测试,空间信号用户测距误差达到0.5 m,系统定位精度达到2.5~5 m。除了加快编织覆盖全球的北斗卫星网络之外,国家正在同步开展北斗星基增强系统建设,形成全国“一张网”,可提供实时cm级、mm级高精度定位服务<sup>[21]</sup>。

北斗系统应用于“两客一危”车辆管理,目前已经建立了全球最大的北斗车联网平台。截至2018年,已经有500多万辆营运车辆上线北斗系统,车联网平台通过提醒驾驶员超速与疲劳驾驶等信息,使得道路运输重大事故率和人员伤亡率均下降近50%。

2017年12月,江西省首条智慧高速公路宁定高速公路建成试运营。在高速公路沿线利用北斗等技术,可对车流情况进行实时监测,同时整合报警手机定位、路况预判等功能,实现对交通事故的快速处置<sup>[22]</sup>。

2017年3月,北京公交公司基于北斗基础数据的大数据分析,对公交车发车时间进行调整。上海基于北斗卫星导航系统,建立了智能公交位置服务系统,能够对公交到站时间进行精准预报,误差时间<1 min。通过公交调度、实时信息采集,降低公交公司10%以上的运营成本<sup>[23]</sup>。

##### 1.5.3 无感技术

无感技术是指通过大数据等新技术手段,简化传统交通流程,使出行者某些特定环节(如收费、验票等)中实现无干扰通过,提高效率和舒适度。目前,无感技术主要应用于识别、支付等,分别衍生出了刷脸识别、无感支付等应用。

1) 人脸识别技术。人脸识别技术,是基于人的脸

部特征信息进行身份识别的一种生物识别技术。用摄像机或摄像头采集含有人脸的图像或视频流,并自动在图像中检测和跟踪人脸,进而对检测到的人脸进行脸部识别的一系列相关技术,通常叫做人像识别、面部识别(图3)。

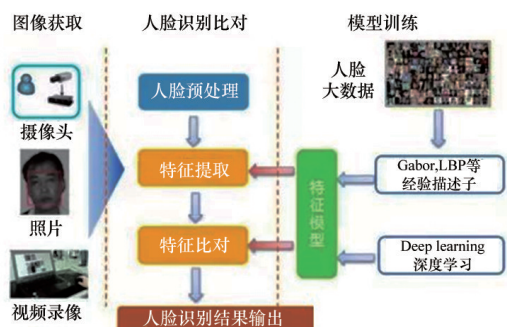


图3 人脸识别系统组成

Fig. 3 Composition of face recognition system

软件方面,20世纪50年代,认知科学家就已着手对人脸识别展开研究。20世纪60年代,人脸识别工程化应用研究正式开启。当时的方法主要利用了人脸的几何结构,通过分析人脸器官特征点及其之间的拓扑关系进行辨识。这种方法简单直观,但是一旦人脸姿态、表情发生变化,则精度严重下降<sup>[24]</sup>。21世纪前10年,随着机器学习理论的发展,研究人员探索了基于遗传算法、支持向量机、boosting、流形学习及核方法进行人脸识别的技术。2009—2012年,稀疏表达(sparse representation)成为研究热点。LFW (labeled faces in the wild)人脸识别公开竞赛在此背景下开始流行。当时最好的识别系统在LFW上的最高精度仅约80%,距离实用距离颇远。2013年,研究者基于高维局部二值模式(local binary pattern, LBP)特征和Joint Bayesian方法在LFW上获得了95.17%的精度。2014年前后,香港中文大学的Sun等<sup>[25]</sup>提出将卷积神经网络应用到人脸识别

上,采用20万训练数据,在LFW上第一次得到超过人类水平的识别精度(表1)。

表1 人脸识别经典方法及其在LFW上精度对比

Table 1 Classical face recognition method and a comparison of accuracy with LFW

时间	方法	训练数据	方法描述	LFW精度/%
1990	Eigenfaces	<1万	主成分分析	60.02
2006	LBP+CSML	<1万	局部二值模型+度量学习	85.57
2013	High-dim LBP	10万	高位LBP+Joint Bayesian	95.17
2014	DEEP ID	20万	CNN+Softmax	97.45
2015	VGG	260万	VGG+Softmax	98.95
2016	FaceNet	2亿	Inception+Triplet-loss	99.63

硬件方面,人脸识别技术经历了可见光图像人脸识别、三维图像人脸识别/热成像人脸识别、基于主动近红外图像的多光源人脸识别3层进化过程,逐渐缓解和解决了光线等环境的变化对于人脸识别的影响,加之算法的不断精准演化,人脸识别技术逐渐进入越来越多的应用领域<sup>[26]</sup>。

2) 无感支付技术。目前,应用于交通的无感支付技术主要包括3种途径:不停车电子收费系统(ETC)、车牌识别和北斗支付。3种技术途径的特点如表2所示。

ETC在高速上已有成熟应用,但其需要用户安装车载单元(on board unit, OBU),流程相对复杂,但现有用户规模较大。截至2017年,中国已有约30%车辆安装了ETC设备。车牌识别技术对识别环境要求高,对天气条件较为敏感,但该技术流程简单,只要注册即可应用服务,对停车场来说只需增设摄像头等即可。北斗智能支付方案要求每辆车安装北斗模块,手机安装APP后即可使用支付服务,该模式相对复杂,但支付场景可延展性比ETC和车牌识别更强<sup>[27]</sup>。

表2 无感支付技术对比

Table 2 Comparison of senseless payment technology

技术	设备要求	识别距离	办理流程	车辆速度要求/(km·h <sup>-1</sup> )	使用场景	环境要求	产业链关系
ETC	车辆OBU+ETC系统	十几米	复杂	0~120	高速、部分停车场	低	复杂
车牌识别	手机APP开通+系统建设	一般3~6 m	简单	0~40	停车场	高	简单
北斗+银联支付	手机APP+车辆北斗模块+系统	实时定位无距离限制	—	—	高速、公共停车、拥堵收费、充电桩收费	—	复杂

## 2 智能交通主要技术发展展望

为实现交通强国的建设目标,抓住机遇、大幅度提高中国智能交通水平是我们面临的重要任务。从以上回顾可知,交通大数据平台及其应用、视频数据提取技术、综合分析研判技术、交通控制优化技术、车路协同技术、城市交通大脑、无感技术等7项技术是智能交通领域的关键技术,对上述技术的发展进行分析,展望如下。

### 2.1 交通大数据技术

交通大数据具有多源异构、时空跨度大、动态多变、异质性、高度随机性、局部性和生命周期较短等特征,如何有效地采集和利用交通大数据,满足高时效性的交通组织控制、交通信息服务、交通状况预警、交通行政管理、交通执法管理、交通企业经营管理、交通市民服务等应用需求,是城市交通和智慧城市面临的机遇和挑战。

构建交通大数据平台是深化大数据应用、不断探索应用人工智能技术、不断提高智能化水平的前提条件。未来交通大数据应用,最重要的方向是数据“加工能力”的提高,未来必然要形成规范的数据结构和实时的数据处理机制,在大数据的采集、传输、处理和应用中,通过系统地使用非传统工具对大量的结构化、半结构化和非结构化数据进行处理,从而获得能够支撑规律发现、机理分析和对策方案自动生成的数据条件。由于数据处理受到高成本、高时效性等一系列条件限制,未来基于云计算技术的数据分析平台、能够实现分布式计算的技术Hadoop、Spark平台将发挥越来越重要的作用。

### 2.2 视频技术

在智能化发展的背景下,深度学习和大数据为视频识别技术提供了前进的方向。AI智能视频识别算法提出了一种新的基于图(graph)的视频建模方法,实现了可帧级解读视频。为提升智能视频识别技术的应用性,使得智能视频识别产品真正市场化,在完善核心算法的同时,视频识别技术必然将向以下方向发展:一是视频结构化;二是人工智能;三是适应更为复杂和多变的场景;四是更低的成本。

在应用方面,主要体现在智能感知、智能识别及智能分析3个方面。

1) 智能感知。路口、路段感知:基于视频识别集成

卡口、电警、信号控制、交通检测等系统,为路口的最优配时、道路路况分析、交通大数据、交通规划等提供可靠依据。路侧停车感知:基于图像的识别进行路侧违法停车的感知和抓拍以及路侧停车位的管理,可以有效降低成本,提高系统可靠性。停车场感知:基于视频车位引导系统,实现快速车位引导,通过增配设备可升级为具有找车功能的智能车位引导及视频寻车一体化系统。

2) 智能识别。通过图像识别、图像比对及模式匹配等核心技术,实现对人、车、物等相关特征信息的提取与分析,如车牌识别、人脸识别、车身颜色识别、车型识别、车脸识别等。

3) 智能分析。一是交通事故及事件检测,基于连续视频可以分析车辆停车、逆行等行为,发现交通事故和交通拥堵时报警;二是车辆违章抓拍,利用视频检测实现非现场执法。

### 2.3 分析研判技术

交通大数据为系统全面分析研判提供了前所未有的信息支撑。应用大数据、云计算、特征识别、数据库分析、大数据挖掘分析、建模仿真、数据可视化等新技术进行交通深度分析研判,有望实现更全面的需求预测、更精准的态势分析、更精细的预报预警、更高效的规律发现、更科学的决策支撑,应用重点体现在交通运行态势分析研判与预警、多尺度交通安全风险分析、警力等资源配置优化与智能执法管理、交通监管与综合服务等方面。

交通分析研判技术发展将以应用为导向,以提高智能化水平为目标,以云计算、大数据挖掘分析、人工智能等技术创新突破为驱动,将在数据融合挖掘、态势分析研判、信息服务与预警、方案智能生成等技术方面重点突破,同时应大力推进相关成果在工程领域的示范和应用。

### 2.4 优化控制技术

未来交通信号优化控制技术将在以下6个方面实现突破。

1) 交通信息采集与融合。基于互联网、大数据及云计算的交通信号控制系统,可以对道路系统中的交通状况、交通事故、气象状况和交通环境进行实时采集、融合分析,形成多来源、多维度的交通状况监控与融合数据。

2) 控制方案优化。大数据应用的最核心功能之一

是交通信号控制系统的优化,目前这方面的差距巨大,无论是优化思路、还是模型方法,均无明显进展。从实现上看,因信号控制不合理导致的通行资源浪费和交通延误十分明显,可以改进的空间很大。人工智能技术、网络流算法等优化方法的不断发展,将有可能助力实现更加优化的干道控制和区域协调控制。借助车路协同技术,可进一步提高道路交通系统的运行效率。

3) 交通信号控制等信息交互方式的改进。在逆光、雨雪、浓雾、沙尘等视线不佳场景和恶劣天气下,驾驶员很难及时分辨信号灯状态。车路协同可以实现将信息迅速传递给交通参与者。

4) 信号控制优化效果的评价。对交通信号控制方案进行优化调整后的效果,传统方法难以及时、定量地进行评估。利用移动互联网、手机、卫星定位等数据可以构建更加直观、更加可信的信号控制评价指标,从而可以更加高效地对交通系统性能进行评估和调整。

5) 控制与诱导的协同将可能带来基础设施使用效率的显著提高。通过诱导信息,实现主动选择,可以实现更加优化的交通控制。

6) 交通流信息与气象信息、大范围的交通状况信息融合使用,能够实现更加安全、更加高效的交通组织与指挥。

## 2.5 车路协同技术

车路协同技术经过世界各国的大量研究和探索,已经取得了阶段性成果。目前,建立了车路协同体系框架和各种相关测试平台,突破了车-车/车-路通信、车辆安全控制及信息技术共享等关键技术,小规模展开了道路演示,但仍存在如下问题和不足。

1) 通信标准:国外车路协同通信普遍采用802.11p协议,中国希望独立制定自己的协议,国家层面的通信标准仍在制定之中。

2) 技术推进缓慢:车路协同系统的核心技术目前在世界范围内仍普遍处于基础理论研究、实验测验和小范围商业应用阶段,并未广泛进入民用环节。

3) 信息安全问题:由于车路协同可以掌握全体用户的出行状态及目的信息,广泛推进车路协同技术可能在发达国家和更为关注隐私的地区引起公众不同程度的质疑。

## 2.6 城市交通大脑

一个好的城市交通大脑,能够助力实现数据驱

动的交通管理模式和服务模式的形成,提供更好地分析研判和决策实施的智能支撑。主要包括以下10项关键技术。

1) 通过迭代优化的智能算法,优化路口、关联路段、功能组团等之间的交通连接,基于交通事件、道路流量等实时感知体系和交通大数据综合平台的分析能力,智能形成交通组织、管理、控制的优化方案,形成不断进化的交通优化区域,提高道路通行效率。

2) 梳理全区域、路口、路段等交通在线实时数据,研发精准刻画道路交通演变的算法模型,包括交通视频分析处理算法、数据整合算法、信号优化算法、交通评价算法、态势研判算法等,为交通信号控制优化提供支撑,实现对交通流状态的精准刻画。

3) 创新面向未来交通的交通治理模型,提升当前交通管理目标层级,实现对道路网络上交通运行健康状态的精准感知,通过当前状态和历史状态对比、趋势预判,找出影响交通拥堵和安全的关键因子,确定面向未来交通的治理模型。

4) 以数据驱动实现交通规划管理一体化。改变原有的交通系统建设(交通信号控制、非现场执法系统、交通流信息采集系统、交通视频监控系統、交通诱导系统、道路交通设施建设等)和应用相对割裂的局面,消除路口交通设备间数据不共享的状况,以数据分析为基础实现交通管理的科学化和智能化。

5) 推进数据治堵深入应用。通过交通大数据研究交通拥堵的成因,以先进的智能算法指导交通排堵保畅策略。交通控制设备实时在线,以实时的交通数据推进区域交通控制策略的形成和实施,形成良性的交通运行机制,保障畅通有序。

6) 构建安全有序的交通环境。准确把握交通事故的特点和规律,提升以识别风险、管控风险为主要内容的安全防控能力,建立健全“预测、预警、预防”机制,加强交通安全风险等级研判体系建设。

7) 辅助道路网络优化改造决策。基于城市交通大数据分析,实施精准掌握交通需求特性、交通供给特性和交通供求关系特性,为城区道路交通系统改造提供决策支持,实现道路网络建设综合优化。

8) 详细分析公交交通运行状况、供求特性、交通方式的衔接特性,不断提高公交的服务质量;不断提高交通分担率、以公交方式为主导的综合交通系统。

9) 动态分析末端交通状况,不断提高综合交通一体化、一站式服务能力,促进共享单车等绿色交通出行的发展。

10) 动态分析行人需求特性,不断完善行人步行空间,指导形成安全、连续、温馨的步行道路系统。

交通大脑建设要以需求为依据,以功能实现为衡量,要遵循交通工程原理和交通发展规律,注重实际效果。有无实际功能效果是评价交通大脑的第一标准,同时系统要具有优化反馈、智能水平不断自我优化提高的机制(自我进化机制)。换句话说,智能进化机制是交通大脑的基本属性要求。

## 2.7 无感技术

未来无感技术将会广泛应用,除人脸识别、车牌识别和无感支付之外,还有一系列物联网技术将在交通领域深度应用。从现有技术来看,人脸识别相对较为成熟,但也面临一系列需要解决的问题。

1) 光照问题:光照投射出的阴影,会加强或减弱原有的人脸特征。

2) 表情姿态问题:当发生俯仰或者左右侧面的情况下,人脸识别算法的识别率也将急剧下降。

3) 遮挡问题:当被采集出来的人脸图像不完整时,会影响后面的特征提取与识别。

4) 年龄变化:对于不同的年龄段,人脸识别算法的识别率也不同。

5) 唯一性识别问题。在不同个体之间人脸的区别不大,所有人脸的结构都相似,甚至人脸器官的结构外形都很相似。

6) 图像质量:对于分辨率低、噪声大、质量差的人脸图像难以识别。

7) 样本缺乏:如何解决小样本下的统计学习问题有待进一步地研究。

8) 海量数据:传统人脸识别方法如主成分分析方法(principal component analysis, PCA)、线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)等在海量数据中难以进行,甚至有可能崩溃。

9) 大规模人脸识别:随着数据库规模的增长,人脸算法的性能将呈现下降趋势。

在无感支付领域,未来随着城市交通管理的精细化、智能化,基于车辆轨迹的交通收费和基于识别的停车收费等诸多无感收费技术将会得到不断发展,北斗作为全场景的应用技术将有更加广阔的应用前景。

## 3 结论

智能交通是提高交通运输系统效率、服务品质、安全水平和环保节能的关键,是建设交通强国、实现中国交通世界领先目标的重要抓手。

为实现交通强国的战略目标,智能交通技术必将实现快速发展,智能化水平必将显著提高。未来智能交通发展的重点将是构建城市交通大数据共享平台、打造先进实用的城市“交通大脑”、构建世界领先的智慧城市智能交通系统、高水平实现车路协同、提升客货运输服务的智能化水平、实现综合运输的智能化、借助于高度的智能化破解交通拥堵、提高安全水平、实现绿色交通主导。

智能交通系统是城市土地使用形态调整、城市交通结构调整、城市路网结构优化、城市道路系统路权调整一起共同构成的城市交通战略与对策体系,要服务于城市发展战略和综合交通规划发展战略。为做好城市智能交通系统建设,应高度重视智能交通系统的顶层设计,应坚持交通基础设施和交通工程建设先行原则,不但要重视智能交通系统的硬件建设,更要注重智能交通系统软件开发与功能提升。

城市智能交通系统建设应以功能实现为核心,以问题为导向,既要有先进性,更要有实用性。智能交通系统发展的第一关键就是能够实现预期功能和能够取得实际应用效果,而不是系统建设本身。智能交通系统建设应进行充分的专家论证和建设效果分析。系统目标明确、验收标准清晰、专家论证充分、后评价制度完善,是保证智能交通系统健康发展的基本要求。应加快出台相关标准与规范,形成完善体系,指导智能交通系统建设,避免决策失误和投资浪费。

## 参考文献(References)

- [1] Chang E C P, Messer C J. Arterial signal timing optimization using PASSER II-90-Program user's manual[R]. Austin: Texas A & M University, 1991.
- [2] 龙琼, 张谨帆, 周昭明, 等. 基于Q学习的城区干线区域交通控制优化[J]. 铁道科学与工程学报, 2014, 11(4): 141-145.  
Long Qiong, Zhang Jinfan, Zhou Zhaoming, et al. Traffic control optimization of artery in urban area based on the Q-algorithm[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2014, 11(4): 141-145.

- [3] 龙建成, 高自友, 任华玲. 城市网络交通动态信号控制方法[J]. 中国公路学报, 2009, 22(4): 108-114.  
Long Jiancheng, Gao Ziyong, Ren Hualing. Dynamic signal control method of urban network traffic[J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22(4): 108-114.
- [4] 董超俊, 刘智勇, 刘贤坤. 基于粗糙集的区域交通控制交通量属性约简[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(6): 1524-1528.  
Dong Chaojun, Liu Zhiyong, Liu Xiankun. Attribute reduction to traffic flow in area traffic control based on rough sets[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(6): 1524-1528.
- [5] Wang F Y. Agent-based control for networked traffic management[J]. IEEE Intelligent Systems, 2005, 20(5): 92-96.
- [6] 陈娟, 徐立鸿, 袁长亮. 分层控制算法在过饱和交通干线控制中的应用[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(15): 4122-4127.  
Chen Juan, Xu Lihong, Yuan Changliang. Hierachy control algorithm and its application in urban arterial control problem[J]. IEEE Intelligent Systems, 2008, 20(15): 4122-4127.
- [7] Singh M G, Tamura H. Modeling and hierarchical optimization for oversaturated urban road traffic network[J]. International Journal of Control, 1974, 20(6): 913-934.
- [8] 张和生, 张毅, 胡东成, 等. 区域交通状态分析的时空分层模型[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(1): 157-160.  
Zhang Hesheng, Zhang Yi, Hu dongcheng, et al. Spatial-temporal hierarchical model for area traffic state analysis[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2007, 47(1): 157-160.
- [9] 李轶舜, 徐建闽, 王琳虹. 过饱和交通网络的多层边界主动控制方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2012, 40(7): 27-32.  
Li Yishun, Xu Jianmin, Wang Linhong. Active multi-layer perimeter control strategy of oversaturated traffic networks[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 40(7): 27-32.
- [10] 公安部交通管理科学研究所. 交通信号控制系统[M]. 北京: 公安部交通管理科学研究所, 2008.  
Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security. Traffic signal control system[M]. Beijing: Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security, 2008.
- [11] 张本令, 汪志涛, 管德永. Hicon 交通信号控制系统的控制算法及应用[C]//中国智能交通学术委员会. 第3届中国智能交通年会论文集. 南京: 东南大学出版社, 2007: 423-431.  
Zhang Benling, Wang Zhitao, Guan Deyong. Control algorithms and applications of Hicon traffic signal control system [C]//Academic Committee of China's Annual Conference on Intelligent Transportation. Proceedings of 3rd China Annual Conference on ITS. Nanjing: Southeast University Press, 2007: 423-431.
- [12] 邱红桐. 智能交通管理系统框架优化的思考[C/OL]. 西南智能交通论坛, 重庆, 2018. [http://www.sohu.com/a/249316244\\_389742](http://www.sohu.com/a/249316244_389742).  
Qiu Hongtong. Consideration on optimizing the framework of intelligent transportation management system[C/OL]. Southwest Intelligent Transport Forum. Chongqing, 2018, [http://www.sohu.com/a/249316244\\_389742](http://www.sohu.com/a/249316244_389742).
- [13] 交通运输部2014年度科技项目“基于大数据技术的交通运输监测预警关键技术研究”公开招标公告[EB/OL]. (2014-06-06)[2018-11-20]. [http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/kjs/201406/t20140606\\_1629631.html](http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/kjs/201406/t20140606_1629631.html).  
Public Bidding Announcement of the Ministry of Transport of the People's Republic of China Project "Key technologies of transportation monitoring and early warning based on big data technology" in 2014[EB/OL]. (2014-06-06)[2018-11-20]. [http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/kjs/201406/t20140606\\_1629631.html](http://zizhan.mot.gov.cn/zfxxgk/bnssj/kjs/201406/t20140606_1629631.html).
- [14] 鲁光泉, 王云鹏, 田大新. 车车协同安全控制技术[M]. 北京: 科学出版社, 2014.  
Lu Guangquan, Wang Yunpeng, Tian Daxin. Collaborative safety control technology for vehicles and vehicles[M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [15] 马小陆, 王川宿, 汤新宁. 基于车车通信的嵌入式前向碰撞预警系统[J]. 中国公共安全(学术版), 2015(1): 79-82.  
Ma Xiaolu, Wang Chuangsu, Tang Xinning. Embedded forward collision warning system based on vehicle-to-vehicle wireless communication[J]. China Public Security(Academy Edition), 2015(1): 79-82.
- [16] 李珣. 车路协同下多车道微观交通诱导与控制研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2015.  
Li Xun. Research on multi-lane micro-traffic guidance and control based on vehicle-road cooperation[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2015.
- [17] 杨晓光, 黄罗毅, 王吟松, 等. 基于车车通信的换道超车辅助系统设计与实现[J]. 公路交通科技, 2012, 29(11): 120-124.  
Yang Xiaoguang, Huang Luoyi, Wang Yinsong, et al. A novel lane change and overtaking assist system design and implementation based on vehicle-to-vehicle communication[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(11): 120-124.
- [18] 张存保, 冉斌, 梅朝辉, 等. 车路协同下道路交叉口信号控制优化方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2013, 13(3): 40-45.  
Zhang Cunbao, Ran Bin, Mei Zhaohui, et al. An optimization method of traffic signal control based on cooperative vehicle infrastructure system[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13(3): 40-45.

- [19] 王一喆, 刘洋东. 基于车路协同技术的现代路面电车速度引导和信号优先控制系统[C]. 中国智能交通年会学术委员会. 第九届中国智能交通年会优秀论文集. 北京: 电子工业出版社, 2014: 1-10.  
Wang Yizhe, Liu Yangdong. Speed guidance and signal priority control system of modern streetcar based on vehicle-road cooperative technology[C]. Academic Committee of China's Annual Conference on Intelligent Transportation. Excellent papers of 9rd China Annual Conference on ITS. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014: 1-10.
- [20] 智能车路协同: 人、车、路的对话[J]. 科技风, 2014(9): 4.  
Intelligent vehicle-road collaboration: Dialogue among man, vehicle and road[J]. Technology Wind, 2014(9): 4.
- [21] 打造中国“天网”: 2018年将发射10多颗北斗卫星[EB/OL]. (2018-05-24)[2018-08-30]. [https://toutiao.china.com/js/yw/13000108/20180524/32446396\\_all.html#page\\_1?newsbaidu](https://toutiao.china.com/js/yw/13000108/20180524/32446396_all.html#page_1?newsbaidu).  
Building China's skynet: More than 10 Beidou satellites will be launched in 2018[EB/OL]. (2018-05-24)[2018-08-30]. [https://toutiao.china.com/js/yw/13000108/20180524/32446396\\_all.html#page\\_1?newsbaidu](https://toutiao.china.com/js/yw/13000108/20180524/32446396_all.html#page_1?newsbaidu).
- [22] 黄金. 江西打造智慧高速样板工程[N]. 中国交通报, 2016-07-05(2).  
Huang Jin. Jiangxi creates intelligent high speed model project[N]. China Transport News, 2016-07-05(2).
- [23] 刘绪. 公交信号优先北斗高精度导航通信系统及关键技术[D]. 济南: 山东大学, 2016.  
Liu Xu. Bus signal priority Beidou high precision navigation communication system and key technologies[D]. Jinan: Shandong University, 2016.
- [24] 一文读懂: 深扒人脸识别60年技术发展史[EB/OL]. [2018-06-21][2018-08-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1603843361351093381&wfr=spider&for=pc>.  
Understanding: 60 Years development history of deep face recognition technology[EB/OL]. [2018-06-21][2018-08-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1603843361351093381&wfr=spider&for=pc>.
- [25] Sun Y, Chen Y, Wang X, et al. Deep learning face representation by joint identification-verification[C]. Advances in neural information processing systems, 2014: 1988-1996.
- [26] 人脸识别技术应用场景与前景[EB/OL]. (2017-08-31)[2018-08-29]. <https://blog.csdn.net/uuZC66688/article/details/77742823>.  
Scene and prospect of face recognition technology[EB/OL]. (2017-08-31)[2018-08-29]. <https://blog.csdn.net/uuZC66688/article/details/77742823>.
- [27] 慕楚. 无感支付突然兴起, 但其实有3种技术[EB/OL]. (2017-07-31)[2018-08-31]. <http://www.mpaypass.com.cn/news/201707/31102309.html>.  
Mu Chu. Senseless payment has suddenly sprung up, but there are actually three technologies[EB/OL]. (2017-07-31)[2018-08-31]. <http://www.mpaypass.com.cn/news/201707/31102309.html>.

## Progress of intelligent transportation system key technologies

LU Huapu

Institute of Transportation Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** Firstly, this paper summaries and analyzes the present development of intelligent transportation systems from two aspects: urban ITS and new technologies. Then, the prospective discussions are given for the traffic big data platform, the video technology, the AI technology, the traffic control technology, the vehicle-road coordination, the urban traffic brain and the non-contact technology. Finally, the key directions and some suggestions for the development of the intelligent transportation in the future are put forward.

**Keywords** ITS technology; traffic big data; urban traffic brain; non-contact technology; vehicle-road coordination ●



(责任编辑 王志敏)