



基于物联网的新一代智能交通 管理系统探析

徐一旻

摘 要: 提升公路运输效率的一个有效途径是利用感知技术、信息技术、通信技术、控制技术等高新技术改善驾驶行为,实现车辆间的协同运行,减少或消除由于驾驶员的驾驶行为特性给交通流带来的干扰。利用物联网“更透彻的感知、更广泛的互联互通、更深入的智能化”的技术特点,基于各交通要素上传的实时数据开发路网容量动态分析技术,探讨了新一代智能交通管理系统及其主要技术,识别路网脆弱性和路段重要度,为管理好公路网中最脆弱路段和最重要路段提供理论依据。

关键词: 物联网;智能交通系统;公路网络脆弱性;协同

一、对物联网的认识

21 世纪被认为是网络的世纪。近些年,由于美国“9.11”事件、2003 年的北美电力中断、2005 年的飓风卡特里娜、2007 年明尼阿波利斯(美国城市)桥的坍塌、2008 年地中海电缆中断、2008 年的气旋纳吉斯、2008 年四川地震、2008 年的冰灾造成南方大部分道路交通、铁路交通、航空交通瘫痪,2010 年南方多省遭暴雨大风袭击,引发山体滑坡溃坝等洪涝灾害,导致桥梁、道路被冲毁、中断,这些事件引起人们对网络脆弱性的研究广泛关注。目前,该领域已成为研究的热点,得到各个学科研究人员的关注。公路网络是交通运输和物流的基础,具有规模大、复杂的特点,受到自然灾害、交通事故、拥堵、超载、正常磨损、养护不当、不良天气、人为损坏等事件影响,其通行能力易于降级、甚至中断。我国物流成本所占 GDP 百分比一直都高于发达国家,仅以 2006 年为例,中国物流成本占整个 GDP 的 18%,而日本为 11%,美国为 8%,欧盟仅为 7%。在这 18% 中,运输成本总计超过 55%,而存储成本达 30%。路网的脆弱性加剧了运输成本所占的比例。

近些年,越来越多的人意识到研究交通运输网络脆弱性和鲁棒性的重要,人们对复杂网络中的无尺度网络和小世界网络的研究成果显著地增进了人们对现实世界中各种网络的行为和脆弱性的理解。但是,这些研究主要是关于网络拓扑特性的研究,如连接性、网络最短路径的长度。Nicholson 和 Du^① 使用系统冗余作为一个性能指标,分析降级的运输网络。Jenelius, Petersen, Mattsson^② 提出了路段重要性指标。Murray-Tuite, Mahmas

① Nicholson, A., Du, Z. P. “Degradable transportation systems: an integrated equilibrium model”, *Transportation Research B*, 1997(31), pp. 209-223.

② Jenelius, E., Petersen, T., Mattsson, L. G *Road network vulnerability: Identifying important links and exposed regions. Transportation Research A*, 2006(20), pp. 537-560.

sani^①提出了两种基于情景的路网指标:脆弱性指标和中断指标。Bell^②使用博弈论方法分析了交通运输网络的性能。Sakakibara, Kajitani, Okada^③提出了一个拓扑指标。Taylor, Sekhar, DEste^④应用总出行费用变化、Hansen 积分可达性指标、ARIA 指标研究了澳大利亚路网的脆弱性。Latora 和 Marchiori^⑤提出了网络效率指标。Naguey^⑥从路网动力学方面提出了一系列路网评价指标。

当前,物联网在交通运输行业的应用是一个研究热点,得到了行业主管部门、科研院所、高校的广泛关注。如上海电信为了保障世博期间的车辆安全,将物联网技术应用到世博的交通监控上,通过视频与传感器技术的结合,对烟雾、振动和加速度等元素的控制,可以实现对车辆的车速、开关门、急刹车、碰撞、侧翻、超速、偏离运营路线等情况进行实时监测。2009 年底,中国工程院启动了重大咨询项目——“物联网及其在重要领域的应用”,在湖南大学主办了“物联网在交通运输领域的应用”高层研讨会^⑦。李海峰^{⑧⑨}认为交通运输行业发展物联网的三个重点是构建交通要素身份认证体系、构建交通要素信息精准获取体系、搭建交通运输物联网平台。利用 IC 卡、RFID 电子标签,结合 GPS 和通信技术组建成简单的物联网已经在危险品运输、集装箱管理系统、甩挂运输等方面得到了应用。有专家预测,未来物联网的发展将经历四个阶段:2010 年之前 RFID 被广泛应用于物流、零售和制药领域,2010—2015 年物体互联,2015—2020 年物体进入半智能化,2020 年之后物体进入全智能化。

总体上说,物联网理念自提出到现在,其发展潜力、对经济的拉动作用、对人们生活方式和各个领域的影响等方面已被世界各国达成共识。各个领域都在着手基于物联网技术建立新的管理模型、新的管理系统。在公路网络管理领域,包括人、车、路、环境四个要素,车联网技术由于受到汽车厂商的推动而发展较快。相比之下,关于道路的物联网、关于交通工程设施的物联网发展较慢。国外对物联网涉及的 RFID 技术、云计算技术等走在了我国前列。在这些关键技术没有取得突破的情况下,国内基本达成以应用拉动物联网技术发展和产业发展的技术途径,公路网络管理是物联网应用的重要领域。目前,国外一些公司进入了我国,主要涉及汽车远程通信、定位、求助功能。在其他的基于物联网的公路网络管理领域,国内处于概念框架、模型建立探索阶段。

开展路网脆弱性分析和协同技术研究的意义在于提高路网的鲁棒性,提高运输效率、减少交通拥挤、降低尾气排放、进而减缓全球变暖的速度、减少出现极端天气的可能性。这构成了一个畅通、高效、绿色的正循环。新一代智能交通管理系统是在物联网背景下,研究公路网络脆弱性分析和协同技术,旨在突破路网脆弱性分析模型、部分路段通行能力降级后路网容量分析模型和车辆间协同运行技术,从而对所有的路段进行重要度排序,确定出网络中哪些路段是关键组成部分,哪些设施应该给予优先的维护和管理,为公路网络管理提供决策依据。研究车辆间协同运行技术可以改善交通流运行模式,减少或消除不良的驾驶行为给交通流带来的干扰,提升运输效率。

二、物联网技术

物联网(IoT, Internet of Things)的概念由美国麻省理工学院(MIT)的 Kevin Ashton 1999 年提

①Murray-Tuite, P. M., Mahmassani, H. S. "Methodology for determining vulnerable links in a transportation network", *Transportation Research*, 2004(15), pp. 88-96.

②Bell, M. G. H. "A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks". *Transportation Research*, 2000(34), pp. 533-545.

③Sakakibara, H., Kajitani, Y., Okada, N. "Road network robustness for avoiding functional isolation in disasters". *Journal of Transportation Engineering*, 2004(130), pp. 560-567.

④Taylor, M. A. P., Sekhar, V. C., D'Este, G. M. "Application of accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road networks". *Networks and Spatial Economics*, 2006(6), pp. 267-291.

⑤Latora V., Marchiori M. "Efficient Behavior of Small-world Networks". *Physical Review Letters*, 2001, 87(19), 198-201

⑥Nagurney Anna, Qiang Qianguang, *Fragile networks-Identifying vulnerabilities and synergies in an uncertain world*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

⑦胡 琼:《专家齐聚湖大研讨物联网在交通运输领域的应用》,载《湖南日报》2010 年 7 月 3 日。

⑧李海峰:《交通运输行业发展物联网需三管齐下》,载《中国交通报》2010 年 5 月 11 日。

⑨孙 婧:《为交通“物联网”搭建平台——行业 IC 卡和 RFID 技术应用指导意见发布》,载《中国交通信息产业》2009 年第 12 期:第 12~13 页。

出,是通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和共享,用以实现智能化识别和管理的一种网络。具体地说,就是把传感器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道以及各类重大设施和装备等各种物体中,然后与现有的互联网结合,实现人类社会与物理系统的整合,人类可以以更加精细和动态的方式管理生产和生活,达到“智慧”状态,提高资源利用率和生产力水平,改善人与自然间的关系。物联网具有全面感知、可靠传递、智能处理的特点,在各个领域都有广泛应用前景,被称为继计算机、互联网、移动通信网之后的又一次信息产业浪潮,是下一个具有万亿元级规模的战略性新兴产业。物联网涉及制造业、物流业、服务业、电信业和广播电视业等多个行业,具有重大的经济价值和市场前景。赛迪顾问研究显示,中国物联网产业在公众业务领域以及平安家居、电力安全、公共安全、健康监测、智能交通、重要区域防入侵、环保等诸多行业的市场规模均超过百亿甚至千亿元。

物联网技术包括范围很广,目前主要是传感技术、通信技术和网络技术相互融合和促进的综合体,而且以传感网为主,因此物联网有时候又称为传感网。随着对物联网技术和应用研究的不断深入,物联网的概念和内涵必将得到进一步发展,并会在环境、电力、物流、交通等领域和行业出现众多物联网应用的典型案例。智能交通系统,是指将先进的传感器技术、信息技术、网络技术、自动控制技术、计算机处理技术等应用于整个交通运输管理体系,从而形成的一种信息化、智能化、社会化的交通运输综合管理和控制系统。这个系统中的传感、信息和网络等技术都包涵在物联网技术中,是物联网技术应用的一个重要方面。借助当前物联网技术飞速发展的势头,基于物联网的智能交通系统必能使各种交通基础设施发挥最大效能。

三、基于物联网的新一代智能交通管理系统技术架构

基于物联网的新一代交通管理系统应具有以下特点:环保——大幅降低碳排放量、能源消耗和各种污染物排放,提高生活质量;便捷——通过移动通信提供最佳路线信息和一次性支付各种方式的交通费用,增强出行者体验;安全——检测危险并及时通知相关部门;高效——实时进行跨网络交通数据分析和预测,可避免不必要的浪费,而且还可以最大化交通流量,提升运输效率;可视——将所有物流配送车辆、公共交通工具和私家车整合到一个数据库,提供单个网络状态视图;可预测——持续进行数据分析和建模,改善交通流量和基础设施规划。

为实现上述目标,根本的问题包括两个方面:一是基于物联网技术,在考虑部分道路通行能力降级、路网饱和度变化的情况下,识别路网脆弱性,对路网中各条路段的重要度进行排序,将路网中脆弱性比较大的路段、重要度比较高的路段这两类路段管理好,整个路网的可靠性就能够得到保证;二是基于物联网技术,尤其是车联网技术,建立新的车辆运行模型,减少或消除不良驾驶行为对车流运行的扰动,提升车流运行效率。具体包括以下几个方面:

(一) 智能交通管理中的物联网技术

要实现智能交通管理,首先必须对交通的实时状况进行准确、及时、有效的监控,各种传感技术在这个过程中起到举足轻重的作用。智能交通行业的传感技术成熟度和行业市场成熟度都较高,而且政府扶持力度大,在建设“数字城市”和“智慧城市”方针的指引下,智能交通系统在许多城市已经开始规模化应用,市场前景广阔,投资潜力巨大,将成为未来几年物联网产业发展的重点领域。特别是随着物联网技术的发展,物联网的优势将在智能交通领域得到充分发挥,传感器和车载传感设备能够更加实时监控交通流量和车辆状态,并通过网络将信息传送至智能交通管理系统中心,通过科学管理和合理调度提高对道路设施的利用水平,提高安全性并最大化交通网络流量,尤其是车辆可以靠自己的智能在道路上安全行驶,公路可以靠自身的智能将交通流量控制和调整至最佳状态。同时,系统还能为旅途中的人们提供全方位的信息咨询和娱乐服务,提高人们旅行质量,管理人员通过系统能及时准确地掌握道路和车辆的安全状况,提升了道路交通安全水平。

(二) 基于物联网技术的路网容量分析技术

路网容量是指在受交通控制的道路某点或断面处,在给定的时间范围内,车辆或行人能合理地通过的最大数量。路网容量不仅与路网的拓扑结构有关,而且与交通流量、交通流动力学、驾驶员的驾驶行为等有密切关系,是公路网络管理的一个难点。在实际路网中,经常出现道路流量远远小于道路通行能力的情况,导致现有基础设施不能得到有效利用。因此,人们常常会自问“路网到底能够容纳多少车辆通行?”交通流理论中的研究成果表明:如交通拥堵、临界密度处的流量雪崩等现象都会造成道路通行能力急剧下降,这是由交通流特性所决定的。德国交通科学家 Kerner 将交通流划分为三种状态:自由流、同步流、宽幅运动阻塞流,在这三种不同的交通流模式下,路网容量具有显著差别。但是,利用目前的交通流模型推算路网容量具有较大的误差,在物联网环境下,可以充分利用交通状态和车辆状态的实时数据(每个车辆上传的速度、加速度数据和道路上传的流量、速度、密度数据),并在车辆和管理系统之间双向传输,即车辆在行驶过程中可以通过向系统上报发送一些路况和车辆本身的信息,同时中心系统也可以向车辆发送一些预告信息、或者给出相关建议,因而可以充分利用路网容量,提高指挥使用的效率,改善交通秩序,为人们的生活创造有序和安全的交通保障。本部分可建立基于物联网实时数据的交通状态估计模型,在此基础上建立路网容量的动态分析模型。

(三) 基于物联网技术的路网脆弱性分析技术

路网脆弱性是指路网在受到随机事件影响的情况下,网络性能或服务水平下降,进而失去部分或全部连通能力的性质。物联网技术的先进性表现在将物理基础设施和 IT 基础设施整合为统一的基础设施,两者合二为一,物联网技术为管理系统全方位提供信息来源,交通基础设施为物联网提供应用环境和平台。在此背景下,道路、车辆、交通工程设施都具备感知、计算、通信的能力,因此道路设施能够将路面完好情况、摩擦系数、温度、气象条件等性能参数和流量、速度、密度等交通状态参数实时地发送给公路网络管理中心,车辆能够将车辆的速度、加速度等运行参数实时地发送给公路网络管理中心,交通工程设施将控制设施的状态实时传送给公路网络管理中心。本部分可在物联网具备的透彻且全方位感知数据的基础上,融合管理科学、复杂网络理论等学科技术,建立基于动态数据的路网脆弱性分析的新一代模型和软件,计算出路网脆弱性指标值和路段重要度,为道路管理部门确定路段脆弱度和采取各种控制策略提供依据,以预防和减轻破坏性事件所造成的影响,增强管理部门对灾难事件和应急事件的预防能力和应对能力。

(四) 基于物联网技术的路网广义费用优化技术

节能减排是我国当前的一项重要任务,需要在各个行业中加以实施。交通运输是我国的耗能大户,加强公路网络管理,提高车辆运行效率,对于节约燃油消耗、减少尾气排放有着重要的贡献意义。因此,在进行公路网络管理时,要以出行距离、出行时间、燃油消耗、尾气排放构成的广义费用为优化目标。

路网广义费用的测算是一个非常复杂的问题,它与车型、行驶里程、道路等级、行车速度、测量折旧费、燃料的消耗、通行费及物价等众多因素相关。在物联网背景下,这些信息都可以通过各种渠道实时获得,每个车辆能够实时检测出车辆的燃油消耗量和尾气排放量,同时还可以依据路网拓扑关系,结合道路交通各网络元素的实时数据,对路网和车辆的性能特征进行多方面的分析计算。特别是分析路网规划方案的经济性,即在能满足运输需求的前提下,规划方案所消耗的费用最低,则该规划方案就最优。本部分主要根据物联网提供的信息,应用经济分析的方法,构建基于物联网的路网广义费用分析模块,并建立相关模型和算法,特别是最小费用模型和优化算法,在部分道路或桥梁通行能力降级的情况下,建立优化目标为路网广义费用的动态交通分配模型,为驾驶员路线选择、出行引导提供理论支撑,实现路网广义费用最佳化。

(五) 基于车联网的车辆间协同运行技术

车联网是物联网在汽车领域的一个细分应用,是指车与车、车与路、车与人、车与传感设备等交互,实现车辆与公众网络通信的动态移动通信系统。它可以通过车与车、车与人、车与路互联互通实现信息共享,收集车辆、道路和环境的信息,并在信息网络平台上对多源采集的信息进行加工、计算、共享和安

全发布,根据不同的功能需求对车辆进行有效的引导与监管,以及提供专业的多媒体与移动互联网应用服务。公路网络管理的一个难题是有人参与,驾驶员的驾驶行为特点差异很大,如鲁莽型、保守型。驾驶行为差异大带来的主要问题是车流中的扰动增多,当交通流处于临界密度时,这些扰动就会诱发拥挤的产生,而且拥挤波会在公路上快速传播,从而诱发更多的拥挤。车联网目前受到通用等大的汽车厂商的推进,有望比道路设施的物联网、交通工程设施的物联网提早实现。车联网在智能交通的发展中可以起到引领作用,它可以把许多传统汽车产业和智能交通连接起来,并让移动互联网、IT业、服务业等在智能交通中找到新的用途。在车联网背景下,本部分可建立车辆纵向跟随控制模型,实现车辆在车队自动驾驶的过程中,保持较小的安全车间距,通过自动化减少人的因素带来的复杂影响。

(六) 基于物联网的智能交通应用子系统

物联网系统中存在大量的实时信息,对于综合决策而言,这些信息都是有用的信息,但对于某些具体的应用而言,就仅仅只需要其中的部分信息,比如电子警察、电子车牌、智能公交、车队管理和停车场管理等具体应用场景和应用子系统,这些较为完备的应用子系统的合集,构成了新一代的智能交通管理系统。在这些子系统的开发完善过程中,需要做的事情很多也很有挑战性。比如,研发基于物联网技术的交通指挥中心,充分利用各渠道获得的交通信息,并完善功能,使指挥中心信息发布载体呈现多元化;研发具有电子识别、防伪、防盗等信息化管理功能的系统,同时实现对车辆的自动识别、检测、定位和档案管理,提高交通管理业务信息化水平;研发基于物联网技术的安全辅助驾驶系统,自动控制安全车速和车距,主动向车辆发送警告信息或危险信息,改变交通事故预防方式,变被动预防为主动预防。因此要在物联网和智能交通大背景下,分别构建、充实和完善各种不同种类的专门的智能交通应用子系统,并共享其信息,为系统中其他应用和路网管理提供支持,进而能构建基于物联网的新一代智能交通管理系统,保障人、车辆和路网的安全。

四、结 论

物联网技术在智能交通管理系统中应用,实质上是对所有既有的传感技术、通信技术、网络技术、信息处理和智能控制等技术的集成应用,并通过这种集成使交通管理新技术得到发展,这对改善交通管理质量、提高管理水平有重大意义。综合交通运输是当今的发展趋势,但与铁路、水运、航空三种运输方式相比,公路交通具有门到门的优势。据联合国开发计划署 2008 年的估计,我国工业品的流通过费用约占产品成本的 20%~40%,而发达国家这一比例为 9%~10%。流通费用高,直接影响了我国企业和整个国家的经济效益。构建基于物联网的新一代智能交通管理系统,对于提高路网鲁棒性、提升车流运行效率具有重要的直接意义,对于降低企业成本、提高国家经济效益具有重要的间接意义。此外,车辆的燃油消耗和尾气排放与车辆的运行工况有着密切关系,基于物联网的新一代智能交通管理系统以广义费用作为优化目标,提升车流运行效率后,对于节能减排具有重要的社会意义。

当前,物联网的发展前景普遍看好,要发展成为能与互联网相媲美的商业市场并创造巨大的市场价值,就必须结合现有行业开发出服务产品,特别是在核心领域实现重点突破,能起到以点带面的效果,智能交通就是一个能充分发挥物联网本身技术特点的重要行业。通过实施基于物联网的智能交通管理系统,传感设备预先将交通、气象等各种信息发送到系统中,智能化车辆或设备能避开拥堵路段,从而能沿着最快的路线达到目的地,提高工作效率并减少燃油消耗和尾气排放;同时,根据系统提供的信息,司机能随时找到最近的车位、加油站、商场、旅社和酒店等所需要的位置,甚至可以设定路线自动行驶到目的地。因此,随着物联网的技术深入发展,以及我国交通等基础设施的建设和投入,智能交通及其管理在物联网的支撑下会迎来质的飞跃。

■ 作者简介:徐一旻,武汉理工大学光纤中心博士;湖北 武汉 430070。

■ 责任编辑:于华东