

利用大数据挖掘和知识发现 技术辅助智慧城市发展

陈聪¹, 张国惠¹, 马晓磊², 王印海³

1. 美国新墨西哥大学土木工程系, 美国 新墨西哥州 阿尔伯克基市 87106;
2. 北京航空航天大学交通科学与工程学院, 北京 100191;
3. 美国华盛顿大学土木和环境工程系, 美国 华盛顿州 西雅图市 98105

摘要

互联网的广泛应用带来了信息时代的数据井喷, 大数据成为当前时代的宝贵资源, 而大数据分析也成为了新时代的重要课题。大数据分析可以提供更准确的分析结果, 从而推动智慧城市系统的发展。总结了智慧城市和大数据的基本概念、发展历程和主要特点, 提出了利用大数据挖掘技术辅助智慧城市的综合发展, 旨在为当代智慧城市和大数据研究提供理论基础。

关键词

智慧城市; 城市化; 大数据; 大数据分析; 科技发展

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-0271.2016029

Big data analysis and knowledge discovery for smart city development enhancement

CHEN Cong¹, ZHANG Guohui¹, MA Xiaolei², WANG Yin Hai³

1. Department of Civil Engineering, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico 87106, USA
2. School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China
3. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Seattle, Washington 98105, USA

Abstract

Big data have been valuable asset with the widespread internet availability, and big data analyses have gain increasing popularity among international researchers. Comparing to traditional data analysis, big data analyses are able to provide more accurate results to facilitate the development smart city system. The basic knowledge, historical development and features of smart city and big data concepts were summarized, in order to provide theoretical foundations for contemporary research in smart city and big data fields.

Key words

smart city, urbanism, big data, big data analysis, science and technology development

1 引言

近年来,随着科技的快速发展及城市化程度的提高,汽车保有量以及交通基础设施建设得到了快速发展,与此同时,城市内关于规划、运行以及管理方面的问题日益出现并愈发严重。交通事故、交通拥堵、环境污染以及社会资源的浪费和不合理分配已经成为了制约新时代城市发展的重要原因。以美国为例,1982年全年美国的人均交通延误为14 h,到2010年已上升到34 h,并且预计在2020年将达到人均40 h。与此同时,目前美国每年因交通拥堵造成的经济损失已经超过1 000亿美元^①。

为了全面、科学地解决城市发展中的各种问题,以智能交通为先导的智慧城市(smart city)的概念在近年被提出。智慧城市是基于人和科技之间协同合作并将人和科技因素进行整合运用的一种城市发展理念。作为一种新型的智能化城市管理理念,尽管新世纪以来已经进行了长时间的讨论和探索,但是智慧城市概念的定义仍相对模糊^[2-4]。虽然没有准确的定义,但可以确定的是智慧城市是一个多学科综合的领域,并在城市发展和新技术的推动下不断发展完善。因此,通过追溯智慧城市概念的起源及发展,可以对城市框架下的“智慧”理念有较为清晰的了解。如果一个城市通过政府参与性的治理,达到充分利用自然资源,使社会、人文、传统与现代通信、交通设施的投资可持续地健康增长的同时,提供给居民一个高品质生活,那么就可以称之为智慧城市。总体而言,智慧城市系统包含众多方面,如Giffinger R等人^[5]提出了智慧城市的六大方面:智慧经济、智慧流动性、智慧环境、智慧人群、智慧生活以及智慧管理。其他方面如智慧教育、智慧能源、智慧旅游、智慧文

化等也引起了广泛关注和深入探讨^[6]。

数据是人类从事科学和社会研究的一个重要基础,通过数据发掘和分析可以获得数据中隐藏的信息,从而为科学发展和社会事务决策提供可靠的支持。随着互联网技术的发展和数据传输技术的不断完善,数据量及数据源数量近年来呈现飞速增长,给科技和应用领域带来了新的挑战。据分析,如今全世界每天产生的数据量达到2.5 EB(1 EB=100 000 000 TB)。因此,大数据的概念应运而生。然而大数据作为近年来提出的新概念,并没有唯一准确的定义^[7]。根据相关研究的定义,大数据一般从5个方面进行定义,统称为5V特性^[7,8]:数据量(volume)、数据速度(velocity)、数据多样性(variety)、数据价值(value)和数据精确性(veracity)^①。后文将对大数据的这5个特性进行深入阐述。在科技迅猛发展的今天,数据将成为最有价值的财富之一。对于特定的研究内容,大数据中包含丰富且可信用度更高的信息,可用于对研究内容进行解释和论证,而这需要大数据分析技术的应用。大数据分析可以提供更完整和准确的分析结果,帮助研究者做出可靠而高效的结论或决策。

智慧城市以及大数据的概念已经成为推动现代化城市发展的重要理念和方法。因此,在当代研究成果的基础上,本文总结了智慧城市系统和大数据的基本概念、发展历程以及关键技术,旨在为大数据和智慧城市系统的深入研究提供概念和理论基础。

2 智慧城市系统

2.1 智慧城市系统的兴起与发展

智慧城市是近年来兴起的一个新概念。智慧城市系统包含众多方面,如智慧

① http://wenku.baidu.com/link?url=JXinwt8XDsKRE1CCTyPM_xEsvELU3SvMZ4jU-bC3Ml2Wzpo5lZl6z3KicXa11tmOwGhcJYibDEtNYVBtht5v1WzEH_MBmPc9pZbl-nj_ij

经济、智慧生活、智慧教育、智慧环保、智能交通等。根据Angelidou M^[6]的分析,智慧城市系统的设计与发展一般基于4方面的因素:城市未来导向、知识与创新经济、科技驱动以及需求驱动。

2.1.1 城市未来导向

根据Angelido M的分析,城市未来导向指的是基于近100年来学者在不同时间段,从社会、经济以及空间布局方面对于未来城市构想的发展脉络,而这些构想是以当时情况下的科技发展作为技术基础。人类社会基于科技发展的未来城市发展的一致性观点提出于18世纪50年代,而在工业化时代最早的理想城市的概念于1898年由Howard E提出^[6]。他的概念是在资本经济型社会下,试图寻求个人与社会需求的平衡,这对以后城市规划和城市发展产生了深远影响。19世纪前30年,欧洲学者提出了各种新兴城市的模型,并将其定义为高效快速的工业化和机械化交通建筑综合体^[9]。第二次世界大战期间,尽管城市规划和民生发展相对于战争居于次要地位,学者们依然对新兴城市进行了规划和建设,用以缓解已有城市的拥堵和污染问题。正是在此期间,以科技进步为推动力的城市大规模建设与发展的概念植根于主要相关社会学科中,如城市规划、社会学与经济学等^②。

20世纪下半叶,随着科技的发展,学者们开始深入研究城市信息系统对于城市发展的影响,城间信息流以及城市层级通信的概念被提出。Gottmann J^[10]提出了“交互型城市”的概念,用以研究因信息数据交互而产生的都市新功能以及这些功能对城市发展的作用。20世纪60年代以后,更多的关于城市发展的新名词被提出,如有线城市(wired city)、电子城市(cyber city)、智能城市(intelligent city)等。随着信息产业和互联网的兴起,

越来越多的基于信息通信技术的新智慧城市理念被提出^[11]。尤其在20世纪90年代,基于互联网在全世界的通达性,学者们提出了数字化世界的概念并认为人们的交流将不再受空间距离的制约,而地理概念上的城市聚集和扩张将趋于消亡^[12-14]。由此可见,自工业化时代以来,科技一直是城市未来前景的基础和源动力。

2.1.2 知识与创新经济

知识是创新和人类发展的源动力。通过对自古希腊文明以来人类社会发展的分析,世界银行指出,知识是贯穿人类发展史的持久基础和动力^[15]。近年来,知识已经成为一种可以推动经济发展的可管理资产。有别于劳动密集型经济,“知识经济”或“知识型经济”指的是知识密集型活动多于劳动密集型活动的经济,而且在这种经济中无形资产的相对比重逐渐升高。正如第2.1.1节所述,第二次世界大战是以科技为主导和动力的城市发展的开端。自此之后,一种以科技及制造产业为主导的园区越来越多地形成于城市周边。这些园区聚集了大量的制造产业以及配套的研发机构,被称为“工业园”、“科研园”或“科技园”等,其中,以20世纪50年代的美国硅谷最为著名^[16]。以此为契机,学者们开始关注这种科技聚集的原因和形式,并以此分析不同科技产业相互合作带来的内在创新力。而这些分析成为了20世纪60-70年代有关智慧和创新型城市发展的研究基础^[17]。此后,由于知识层面的科技创新可以转化为市场下的利润产品(如专利和新产品),社会的关注点逐渐转移到推动科技转换的方向上来,而且经过科技转换的新成果可以更好地应用于区域发展。基于此,智慧型区域发展的概念,如区域创新系统(regional innovation system),成为了智慧城市的研究重点。伴随着这种区域创新理念的发展,国际和区

② <http://www.iftf.org/our-work/people-technology/technology-horizons/future-knowledge-ecosystems/>

域组织如世界银行、东盟等,利用自己区域和职能优势将知识和科技资源进行整合,更好地推动城市区域发展^[18-21]。由上述历史可知,知识和创新型经济是推动智慧城市发展的不可或缺的因素。

以上两个方面从时间维度分析了智慧城市概念的产生、发展以及内在动力。在当代社会下,科技创新呈现出低成本、无线化、高安全及高可靠度等新特点。同时,大数据分析技术可以更准确地把握城市发展的方向并为城市的智慧化管理提供合理的参考。伴随着科技的低成本化趋势和大数据分析的广泛应用,当前智慧城市领域的发展主要有两个方面:科技驱动和需求驱动。

- 科技驱动:由于科技快速发展,新的产品或方案被投放市场,这些产品并不以市场或社会需求为导向,但是为智慧城市的发展提供了更多功能支持。

- 需求驱动:研发科技产品或方案,以解决当前城市存在的问题,并以强化城市的智能化功能为导向。

2.1.3 科技驱动

以科技驱动为动力的智慧城市发展的目的在于新型的科技产品可以迅速商业化,并为智慧城市提供更多选择,以实现智慧城市自身的功能设计。利用信息通信系统的优势,这些新产品可以在各个方面为智慧城市的实现提供功能支持,如交通、能源、医疗等。这种科技驱动具有多种表现形式:

- 全球科技论坛及相关活动(如智慧城市学术论坛);
- 基于未来智慧城市发展功能的科技自主研发(如谷歌无人驾驶技术研究);
- 决策机构制定的引导智慧城市发展的政策法规(如联合国教科文组织的各项相关政策)。

由于科技的低成本化,服务于智慧城市理念的新产品市场迅速扩大。预计到2020年,全球每年在智慧城市理念上的科技投资将接近160亿美元^[22]。

2.1.4 需求驱动

如引言中所述,经济和社会的快速发展带来了城市的迅速扩张,由此也引发了一系列亟待解决的城市问题和挑战。主要的问题来自于两个方面:城市化进程、资源稀缺和气候变化问题。在城市化进程中,由于人口的流动,城市人口持续增长,对城市资源和社会发展的可持续性构成了巨大的挑战。同时,大量流动人口的增加也加剧了城市气候变化以及城市自然资源的稀缺。因此,在城市框架内解决如上社会问题成了维持并改善城市发展的重要课题。为了推进城市和社会的可持续发展,以上两方面问题便成为智慧城市领域的研究重点,从而形成了智慧城市发展的内需动力。同时,在信息高速传播的当今社会,城市的繁荣和发展与城市自身的吸引力密切相关。为了吸引更多的社会资源,促进城市本身的持续性发展,当地决策机关必须提供更加便捷、高效的社会服务,而这也成为智能城市的内需驱动力^[4]。

2.2 智慧城市发展现状

根据Kitchen R^[23]的分析,按照“智慧”的来源,智慧城市可以分为两类。一类是在城市大规模安装数字化设备,包括监控设备、数字化交通设施及标志、实时通信设备等。通过收集、整合和分析这些数据流,可以对城市运行进行实时的监控管理,而这些分析信息也可以被实时地发送到城市居民的移动设备上(如电脑、手机、GPS装置等),为城市居民的日常活动提供更加便利的信息。而这些实时数据通过存储和进一

步分析,可以用来描述、模拟和预测城市运行特性以及未来发展,从而为智慧城市的进一步发展提供参考依据^[24]。不仅如此,数字化技术的大规模运用与发展也可以刺激当地相关产业的发展,尤其是区域服务和知识型经济的发展。

另一类是在一定区域内发展知识型经济。从这个角度来说,智慧城市是一个智慧人群领导的由改革、创新和企业化驱动的经济体。在此系统里,信息和通信技术(information and communication technologies, ICT)是这个区域发展平台中推动实现创新型概念和设计的助推力。然而,就信息通信技术而言,单纯嵌套于城市系统中并不能将城市转化为智慧型城市,需要其与人力与社会资源以及更加宽松开放的经济体相结合,推动城市的智能化发展^[25]。智慧城市的概念最初定位于技术和技术型管理的角度,然而随着智慧城市概念的不断完善,社会资本、教育、经济等方面与综合型智慧城市概念的完善越来越密切。当前网络基础设施的发展为城市科技创新提供了基础,而这也促进了区域性城市的经济、文化和环境的发展^[26]。

由于经济和科技因素的存在,两类智慧城市其实是密切相关的。而利用市场导向型科技来提高城市管理效率是将两类智慧型城市联系起来的前提。从商业角度来说,创新型的商业公司(如谷歌、微软等公司)成为了智慧城市的大力倡导者。从政府和区域性组织(如国家政府和国际组织)来说,智慧城市的概念为社会经济的发展提供了更大的潜力和更多的发展方向^[2],包括以下几个方面:

- 城市内ICT的广泛应用;
- 市场导向型的城市发展和管理技术;
- 以人和社会为本的创新型城市;
- 旨在提高社会教育和社会资本智慧型社区议程;

- 社会、环境、经济和人文的可持续发展。

3 大数据指导下的智慧城市发展

3.1 智慧城市中大数据的特点

Laney D^[8]于2001年根据大数据的3个特点对其进行定义:“大数据是具有高数据量、高数据传输速度以及高度多样性特点的,并需要用新型的经济型处理方法进行处理和发掘的一种资产”。其中,数据量、数据速度、数据多样性成为定义大数据的3个基本特征,也被称为3V特性。此后,随着对大数据分析的不断深入,智慧城市下大数据的3V特性被扩展为5V特性,增加了数据价值和数据精确性^[7]。5个特性的具体解释如下^[7,31]。

(1) 数据量

大数据概念中的数据量指的是大量的从各种数据源中产生的任意类型的数据。在智慧城市框架下,多媒体/社交媒体及其他类型网络在数据产生量方面呈现几何级增长。即使是现代工业产品,如汽车、火车、发电站等,其装备的传感器数量也随着智能化程度的提高在增加,这些传感器也在持续收集不断增多的数据。不断增长的数据量给数据收集、数据分析带来了新的挑战。

(2) 数据速度

大数据概念中的速度指的是数据产生、传输的速度。在智慧城市框架下,由于数据量和数据源的持续增加和数据类型的不断变化,数据的内容也呈现持续变化的状态。对于某一数据存储,数据产生和传输的速度决定了数据内容变化的速度。数据用户倾向于更快的数据产生和传输速度,以便能够了解其关心的实时信息。由此而言,大数据的速度特点对数据处理方法

及运算算法提出了更高的要求。

(3) 数据多样性

大数据概念中的数据多样性指的是数据的类型多样性,如视频数据、音频数据、图像数据、文字数据以及数据日志等。数据类型的多样性与数据源的多样性密不可分,如手机、录像机、传感器、社交平台等。同传统的结构性数据(如财政数据、期货交易记录、人事信息等)相比,在智慧城市框架下,大数据概念中的数据包括了大量的复杂的非结构型数据,且没有固定的数据格式。与数据速度相似,大数据多样性的特点也推动了数据处理方法及运算算法的进一步发展优化。

(4) 数据价值

大数据概念中的数据价值指的是大数据中包含有价值的信息,这些信息可以为相应的决策提供有益的参考。数据价值的实现需要通过大数据分析,即从大数据中提取有价值的信息的过程。在智慧城市框架下,数据价值评估是所有以大数据为基础的应用最重要的特性,正是因为数据价值评估可以产生数据使用者需要的信息。

(5) 数据精确性

大数据概念中的数据精确性指的是大数据中包含信息的完整性和准确性。数据精确性是对大数据质量和可信度的描述。任何信息管理实践的核心内容都是数据质量、数据支配、元数据管理以及对数据保密性和合法性的要求。精确的原始数据有助于准确的数据信息的分析与发掘,从而为相应的决策提供更加准确的参考。

3.2 智慧城市框架下大数据分析和知识提取

3.2.1 大数据分析

数据分析学指的是对数据进行收集、

存储、提取、去噪、整合和分析,通过数据分析发掘数据中的信息的科学过程。数据分析广泛应用于各种领域中,包括科学、体育、广告等。根据Ahmed K B等人^[8]的分析,大数据分析包括数据源、数据库和数据分析应用3个方面。其中,数据源包括以下几个方面:

- 传统型数据源,如关系数据库管理系统(RDBMS)、联机分析多维数据集(OLAP Cube)等;
- 新类型数据源,如网络日志、电子邮件、社交媒体等。

从这些数据源中获得的原始数据需要通过进一步整理才能形成可以用于分析的数据库或数据堆栈。数据整理步骤如下:

- 数据获取;
- 数据操作;
- 数据整合;
- 数据去噪;
- 必要的数据变换。

得到了可以用于分析的数据库或数据堆栈后,具体的数据分析应用可以分为如下3类:

- 描述性分析(企业及临时性报表);
- 预测性分析(数据挖掘及可视化);
- 规定性分析(数据模拟、预测、最优化等)。

3.2.2 智慧城市下大数据分析流程

(1) 数据采集

大数据分析中的数据是通过数据源具备的相应的记录装置记录得来,如从实验中获得实验数据、从气象卫星的记录仪中获得特定时间和区域的详细气象信息等。相当一部分数据源并不通过网络传输数据,而且记录的数据可以通过特定的算法和装置进行筛选。因此一个重要的问题是如何选取合适的筛选装置,从而将有用数据被筛选掉的概率降到最低。数据

采集过程中的另一个重要问题在于如何自动产生元数据来记录所收集数据的基本信息,如数据是如何记录的以及某些数据的测量方法等。数据采集中的第3个问题是确保数据源的合理设置。由于记录数据在时间上的相关性,初始数据的错误设置有可能导致后续数据的不可信,因此,确保数据源的合理设置是进行后续所有数据处理的前提和保证。

(2) 智慧城市数据提取与分析

通过数据采集获取的原始数据包含各种信息,这些原始数据并不能直接分析。因此,不同的研究课题需要从原始数据中提取出相应的子数据集进一步处理。对于前文所述的非结构化数据,往往需要将其根据研究内容整理为结构化数据,降低对数据分析方法在技术层面的要求。另外,由于数据源和数据采集仪器的精度限制以及其他外界因素的干扰,采集到的数据中会存在不完整或错误的记录,在进行数据分析之前,需要对这些数据进行去噪处理,确保用于分析的事故数据的完整性和准确性。第三,由于人为因素的存在,采集到的数据有时并不能完全反映事物的真实特征,如在事故数据采集的过程中,事故当事人在轻微事故的情况下往往选择不报,导致实际收集到的轻微事故数据记录少于实际事故数。因此需要更加先进的数据处理方法来尽量消除这种数据偏差带来的影响。

(3) 智慧城市数据整合和知识提取

在大数据框架下,由于数据类型的多样性,只经过收集和存储的数据并不能用于高效准确的数据分析。而且,大规模的数据分析依赖于计算机算法的高速自动运算。因此,数据整合成为大数据分析的一个必要步骤。数据整合,即根据研究需要并结合不同类型的数据的差异性,将其整合为一个整体性的数据库。整合后的数据库应具

有以下特点:原始数据中存在的数据库结构和表达形式的差异应在整合后的数据库中予以保留,并且这些差异能够用于大数据分析的计算机算法读取和高速分析,从而保证整合后的数据在算法上的可解性。

此外,在大数据的概念下,即使是对单一数据进行分析,合理的数据整合和数据库设计也是非常必要的。而数据库设计的具体细节则由研究内容以及研究方法的特殊性来决定。对于特定研究内容或方法,某种数据整合的方法往往较其他方法更有优势。因此,在设计数据库时需要考虑数据库的可修改性,使该数据库被用于其他研究时可以进行相应的修改,从而增强其实用性。

(4) 数据挖掘与知识提取模型分析

基于前文的分析,大数据具有动态性、数据类型的各异性,且大数据中有高噪声数据的存在,因此,大数据的数据挖掘、分析与应用与小样本数据的传统方法有着本质的区别。正是由于大数据具有足够多的可用样本,对大数据进行挖掘和分析可以带来比小样本数据分析更加可靠的研究结果。

大数据挖掘与分析需要利用高可信度和高整合度的数据库、可扩展的数据分析算法以及适用于大数据分析的计算机软硬件环境。与此同时,在大数据挖掘和分析的过程中,数据质量及可信度也可以得到提高,而数据分析算法根据其本身的变化也可以通过调整变得更加高效和智能化。进一步而言,对数据的深入了解有助于查找数据错误,以此提高数据可信度。因此对于基于大数据的数据库和分析结果而言,大数据分析是一个双向提高的过程。

不同数据库之间的低协调性是当前大数据分析中制约分析效率的一个重要因素。在此情况下,数据分析人员不得不进行重复性的工作(利用计算机语言),查询和调用需要的数据。因此,提高大数据分析

中不同数据库之间的协调性,实现不同数据库之间的相互关联和自动化调用,对于提高数据分析效率有重要的作用。

(5) 智慧城市框架下数据结果解释

③ 数据分析的目的是从数据中针对某一问题挖掘有用的信息,而挖掘这些信息需要对数据分析结果进行解释。对数据分析结果的解释不是凭空臆造,而是根据数据分析中提出的假设和先验信息进行阐述。同时,由于大数据分析依赖计算机程序的自动运算,因此研究者需要理解、验证并解释这些结果描述的信息,因此,大数据复杂性对研究者形成了巨大的挑战。总之,对于大数据分析来说,仅仅依靠数据分析结果,而不就这些结果的分析过程和前提假设进行补充说明是徒劳的。

此外,带有丰富可视化功能的数据分析系统能够为研究者就特定研究内容提供更直观的数据分析结果,传统数据分析仅仅能对结果进行简单的图标汇总展示,而如今计算机技术的高度发展为研究者提供了更加多样化的可视性界面,从而可以更好地理解数据分析结果。

总而言之,大数据是大量、动态、多样、详细、低成本的内部相连的数据结构。通过不同的数据分析手段,完成数据缺失到数据丰富、静态分析到动态演变、粗糙地聚合到高分辨力地聚合、相对简单的假设到复杂的模型、高级地模拟到形成理论的一个大的转变^[27]。

4 结束语

当前,随着科技的快速发展,全球范围内城市化进程日新月异,而互联网和信息化的发展也带来了数据井喷的新时代。智慧城市系统是解决城市化进程带来的问题的有效手段,而在大数据分析技术的

支持下,智慧城市已成为城市可持续发展的必然趋势和选择。本文总结了智慧城市和大数据的基本概念、发展历程和主要特点,旨在为当代大数据和智慧城市研究提供理论基础。目前,国内外已有利用大数据进行智慧城市建设的先进案例^④,如深圳市福田区利用大数据系统建立完善的电子政务体系,通过在此基础上的进一步改进,建立快捷、高效的民政服务系统,提高了政府的行政效能。又如,英国伦敦在2012年奥运会期间通过实时分析和监控,利用闭路电视、地铁卡、移动电话和社交网络等资源收集到的交通信息,最大限度地确保了公共交通的畅通,保证了伦敦市在流动人口和出行量大量增长情况下的服务能力。然而,智慧城市和大数据分析也面临着各方面的挑战,如智能化设施建设中的物质和政策支持、大数据的开放和共享程度、基于城市特征差异的智慧城市设计等。只有科技的不断发展和社会各个方面的全方位参与和协作,智慧城市系统的建设和大数据技术的开发应用才能取得丰硕的成果。

参考文献:

- [1] FISHMAN T. Digital-age transportation: the future of urban mobility[R]. Texas State: Deloitte University Press, 2012.
- [2] HOLLANDS R G. Will the real smart city please stand up [J]. City, 2008, 12(3): 303-320.
- [3] NAM T, PARDO T. Smart city as urban innovation: focusing on management, policy, and context[C]// The 5th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance (ICEGOV2011), September 26-28, 2011, Tallinn, Estonia. New York: ACM Press, 2011: 185-194.
- [4] WOLFRAM M. Deconstructing smart cities: an intertextual reading of concepts

③ http://www.cbdio.com/BigData/2015-09/25/content_3884687.htm

- and practices for integrated urban and ICT development[C]// Real Corp 2012 Tagungsband, May 14-16, 2012, Schwechat, Austria. [S.l.:s.n.], 2012: 171-181.
- [5] GIFFINGER R, FERTNER C, KRAMAR H, et al. Smart cities: ranking of European medium-sized cities[M]. Vienna: Vienna University of Technology, 2007.
- [6] ANGELIDOU M. Smart cities: a conjuncture of four forces[J]. *Cities*, 2015, 47: 95-106.
- [7] BELLO-ORGAS G, JUNG J J, CAMACHO D. Social big data: recent achievements and new challenges[J]. *Information Fusion*, 2016, 28: 45-59.
- [8] AHMED K B, BOUHORMA M, AHMED M B. Age of big data and smart cities: privacy trade-off[J]. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 2014, 16(6): 298-304.
- [9] HALL P. *Cities of tomorrow: an intellectual history of urban planning and design in the twentieth century (4th edition)*[M]. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2014.
- [10] GOTTMANN J. Megalopolis or the urbanization of the northeastern seaboard[J]. *Economic Geography*, 1957, 33(3): 189-200.
- [11] AURIGI A. New technologies, same dilemmas: policy and design issues for the augmented city[J]. *Journal of Urban Technology*, 2006, 13(3): 5-28.
- [12] AURIGI A, GRAHAM S. *Cyberspace and the city: the "virtual city" in Europe*[M]. Massachusetts: Blackwell Publishing Ltd, 2000: 489-502.
- [13] MARVIN S. Telecommunications and sustainable cities[J]. *Urban Design International*, 1998, 3(4): 195-199.
- [14] CRANG M, GRAHAM S. Sentient cities: ambient intelligence and the politics of urban space[J]. *Information, Communication & Society*, 2007, 10(6): 789-817.
- [15] World Bank. *Building knowledge economies: advanced strategies for development*[M]. Washington D C: World Bank Institute Development Studies, 2007.
- [16] SAXENIAN A. The genesis of Silicon Valley[J]. *Built Environment*, 1978, 9(1): 7-17.
- [17] BOULTON A, BRUNN S, DEVRIENDT L. Cyberinfrastructures and "smart" world cities: physical, human, and soft infrastructures[M]// *International handbook of globalization and world cities*, Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2011: 584.
- [18] CHATZKEL J. Greater phoenix as a knowledge capital[J]. *Journal of Knowledge Management*, 2004, 8(5): 61-72.
- [19] DVIR R. Innovation engines for knowledge cities: an innovation ecology perspective[J]. *Journal of Knowledge Management*, 2004, 8(5): 16-27.
- [20] ERGAZAKIS K, METAXIOTIS K, PSARRAS J. Towards knowledge cities: conceptual analysis and success stories[J]. *Journal of Knowledge Management*, 2004, 8(5): 5-15.
- [21] MARTINEZ S D. A comparative framework for knowledge cities[M]// *Knowledge cities: approaches, experiences, and perspectives*, [S.l.:s.n.], 2006: 17-30.
- [22] Navigant Research. Smart cities[EB/OL]. [2016-03-13]. <https://www.navigantresearch.com/research/smart-cities>.
- [23] KITCHIN R. The real-time city? big data and smart urbanism[J]. *GeoJournal*, 2014, 79(1):1-14.
- [24] HANCKE G P, SILVA B C, HANCKE J R G. The role of advanced sensing in smart cities[J]. *Sensors*, 2013, 13(1): 393-425.
- [25] CARAGLIU A, DEL BO C, NIJKAMP P. Smart cities in Europe[J]. *Journal of Urban Technology*, 2011, 18(2): 65-82.
- [26] ALLWINKLE S, CRUICKSHANK P. Creating smarter cities: an overview[J]. *Journal of Urban Technology*, 2011, 18(2): 1-16.

[27] KITCHIN R. Big data and human geography: opportunities, challenges and

risks[J]. Dialogues in Human Geography, 2013, 3(3): 262-267.

作者简介



陈聪 (1985-), 男, 博士, 美国新墨西哥大学土木工程系博士后研究员, 主要研究方向为交通事故建模与数据分析、贝叶斯模型、交通安全、交通运行与控制、交通地理分析以及智能交通系统。2014年获美国新墨西哥州州长奖学金, 并就职于美国新墨西哥州交通厅。目前在Accident Analysis & Prevention、Transportation Research Part C 和Journal of Transport Geography 等相关领域重要期刊中发表第一作者文章6篇, 并应邀担任3个期刊的审稿人。现任美国科学院交通研究会 (TRB) 公路安全委员会 (ANB25) 子委员会成员。



张国惠 (1978-), 男, 美国新墨西哥大学土木工程系助理教授、博士生导师, 主要研究方向为交通控制与运行分析、智能交通系统、交通安全、交通地理分析、交通建模以及交通仿真等。先后主持或参与主持了13项由美国新墨西哥州交通部等部门资助的科研项目。在国际学术期刊及会议上发表论文70多篇。现任美国科学院交通研究会 (TRB) 信息技术和系统委员会委员, 多个期刊审稿人。



马晓磊 (1985-), 男, 北京航空航天大学交通科学与工程学院交通运输工程系副教授、博士生导师, 入选北京航空航天大学2013年第三批“卓越百人”计划, 主要研究方向为城市公交系统优化、交通数据挖掘与人工智能以及大规模交通网络建模与分析等。主持包括国家自然科学基金、国家科技支撑计划子课题、北京市科技新星计划等10余项研究项目。目前已经在IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems、Transportation Research Part C: Emerging Technologies等交通领域顶级期刊以及TRB等国际顶级会议上发表学术论文40余篇, 其中21篇被SCI收录, 3篇被EI收录, 其中两篇文章被评为Science Direct Top 25 Hottest Articles, 受邀出版英文专著1章。担任美国科学院交通研究会 (TRB) 人工智能与高级计算应用委员会委员。入选2015年北京市科技新星人才计划。



王印海 (1965-), 男, 美国华盛顿大学 (西雅图) 土木和环境工程系终身教授、博士生导师, 哈尔滨工业大学交通信息与控制工程系海外特聘系主任, 北京航空航天大学客座教授, 清华大学长江讲座教授, 主要研究方向为交通检测、e交通学与大数据应用、交通控制、交通建模、智能交通系统、交通安全及交通仿真等。先后主持或参与主持了72项由美国环境保护署、联邦交通部等部门资助的科研项目, 其中一项资助强度高达3 000 万美元。分别于2010年和2011年获得中国自然科学基金会海外合作基金 (原杰出青年B类) 和重点项目基金。在国际学术期刊及会议上发表论文150多篇 (其中, 100多篇论文被SCI收录), 并获得美国土木工程学会 (ASCE) 交通工程期刊2003年度最佳论文奖。应邀在中国、美国、日本、欧州等国家和地区的学术机构、政府及专项研讨会讲学197次。在国际会议上发表演讲197次, 并获日本土木工程学会第51届年会最佳讲演奖。现任美国联邦交通部第10区 (由西北地区四州构成) 大学交通研究中心主任, 电气与电子工程师协会 (IEEE) 智慧城市创意指导委员会委员, 第一届IEEE智慧城市国际会议主席。曾任IEEE智能交通系统分会理事 (2010-2013年)、美国土木工程师协会 (ASCE) 交通与发展委员会 (T&DI) 理事 (2013-2015年)。现任美国科学院交通研究会 (TRB) 两个专业委员会委员, 3个SCI收录期刊的副主编。

收稿日期: 2016-03-10

2016029-10