



Research  
iCity & Big Data—Perspective

## 信息物理——社会系统视角下的智能城市

Christos G. Cassandras

Division of Systems Engineering & Center for Information and Systems Engineering, Boston University, Brookline, MA 02446, USA

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 30 April 2016

Revised 6 June 2016

Accepted 13 June 2016

Available online 30 June 2016

#### 关键词

智慧城市  
信息物理融合系统  
数据驱动的控制

### 摘要

新兴智慧城市是城市环境的新一代创新服务,包括交通、能源分布、医疗、环境监测、商务、商业、紧急响应和社会活动。要想实现这种为城市场景服务的各项技术,需要将智慧城市视为一个整体的信息物理融合系统(CPS),这其中包括新的移动软件平台和对治安、安全、隐私和大量信息处理的严格要求。本文旨在确定智慧城市的关键特征,进而讨论了一些由CPS观点出发而得出的经验教训,并概述了一些空白领域的基础研究内容。

© 2016 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. 背景

截至2014年,地球上54%的人口生活在城市地区,到2050年这一比例将达到66%,这意味着未来城市总共将有25亿的新增人口[1]。目前,世界范围内已经存在28个超级大城市(即每个城市都拥有1000万以上的人口数量),这28个超级大城市总共容纳了4.53亿人口,约占世界城市人口总和的12%。根据预测,这样的超级大城市在2030年将会达到41个。城市管理和城市可持续发展,已经成为当今社会面临的最重要的挑战,这些大城市正在寻找改变的方式使其变得更加“智慧”,以便拥有一个宜居以及经济上可持续发展的未来。

新兴智慧城市是城市环境的新一代创新服务,包括交通、能源分布、医疗、环境监测、商务、商业、紧急响应和社会活动[2]。智慧城市一词目前已被广泛使用,用于描述上文提到的全部远景,以及支持这些远景

的相关知识内容。智慧城市的技术基础设施,是基于网络的传感器和元件嵌入到整个城市脉络,与无线移动设备(如智能手机)开展交互,并有一个基于互联网基础的云服务来支持。从信息物理融合系统(CPS)流经和收集的数据开展分析,包括交通状况和停车空间的占用,空气、水的质量情况,桥梁、道路或者建筑的结构健康状况,以及包括运输车辆、警局或医疗设施等资源的具体位置和运行状态等。源于这种环境下的应用是无穷无尽的,每天都有新的发明和应用产生,为全体市民服务提供了无限的商业机会。

构建这样一个智慧城市,需要信息物理融合的基础设施结合新的移动软件平台来开展,并对移动、机密、安全、隐私,以及处理大批量信息(所谓的“大数据”)有着严格的要求。普遍采用的模式是“云”,在“云”中保留着大部分数据,这些数据驱动着各种新颖且不断演进的应用,且这些应用是实时响应的,可同时满足严

E-mail address: [cgc@bu.edu](mailto:cgc@bu.edu)

2095-8099/© 2016 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: *Engineering* 2016, 2(2): 156–158

引用本文: Christos G. Cassandras. Smart Cities as Cyber-Physical Social Systems. *Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/J.ENG.2016.02.012>

密的数据安全要求。值得强调的是，智慧城市基础设施的最大价值在于“闭环”，它包括传感、沟通、决策和启动，而不仅仅是数据的收集和共享(图1)。因此，这就需要一个对“物理”和“网络”组件的综合考量，考量与隐私、机密、安全以及大数据收集和驱动机制所具备的“无线”特质适应的能源管理问题。

这种模式的重大挑战在于需要集成广泛分布的异构设备到一个共同的软件环境中。例如，相机和不同类型的传感器嵌入到电线或建筑物的供暖、通风和空调(HVAC)组件中，它们之间以及它们与智能手机、平板电脑、笔记本电脑和服务器之间必须能够互相通信。其整个过程可被视为与20世纪80年代末和90年代初发生的过程同等重要，那时，互联网集成数据、语音、视频和各种专业应用到一个统一的环境中，并且出现了各种工业和商业部门所应用的软件平台。同样，在CPS领域，互联网正在快速扩展，包括一个新的以流动性、机密性和安全处理大数据为定义的预期平台。

在这个新的物联网时代，互联网只是一个更大型网络中的一员。互联网最终只是一个在计算机之间传输数据的结构，在一个智慧城市中，数据从异构传感设备传到服务器；反过来，也要求数据流回到驱动装置以执行有用的实时操作(如控制交通信号灯，空调组件，以及为关键的医疗或紧急需求所调度的资源等)。在当前背景下，每个新创建的智慧城市的应用程序，都需要以自己独特的方式来适应它的用户，并与用户产生联系。一个潜在的应用程序——即插即用组件的共同平台是目前所欠缺的，而它可以定义什么是未来。

## 2. 定义一个智慧城市

智慧城市还没有一个被广为认同的定义，但一些人正在努力尝试解释智慧城市所表现出的多维度以及跨领域的本质。下文的一些定义，分别来自政府机构、工业组织、技术领先者以及学术界等不同的领域。

(1)“这是一个在经济、人群、治理、流动、环境和居住生活方面表现出良好前瞻性的城市，它建立在具有自主决断能力、独立意识的市民的天赋和行为的智能组合之上。”[3]

(2)“智慧可持续城市利用信息和通讯技术(ICT)使城市更加智能，它高效利用资源、节约成本和能源、改善服务和生活质量、降低环境足迹，以上这些都有助于改革创新和低碳经济发展。”[3]

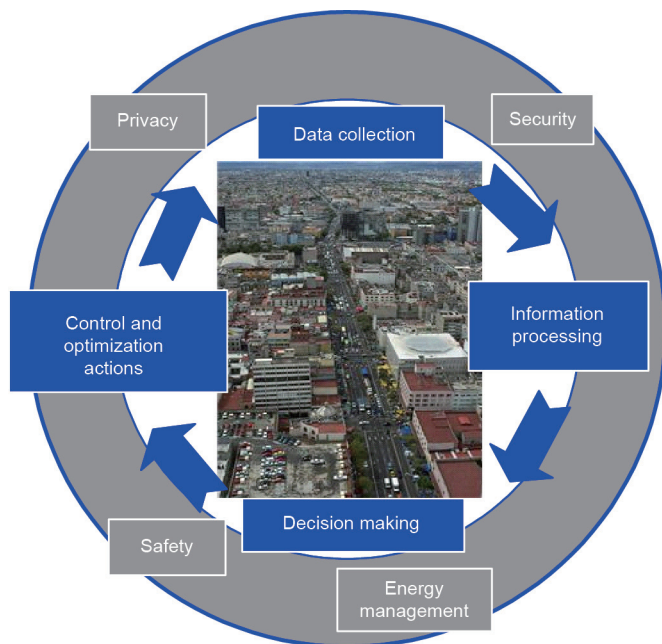


图1. 智慧城市的信息-物理基础设施。

(3)“日立公司对智慧可持续城市的解释为，旨在持续关注基础设施以协调全球环境和生活方式，并且更加安全和便捷。智慧可持续城市通过基础设施的协调来实现，这个协调的基础设施包括两个基础设施层面来将消费者的生活方式与城市管理基础设施的信息技术(IT)联系在一起。”[4]

(4)“我们相信，人力和社会资本以及传统和现代(ICT)沟通交流基础设施的投入，通过可参与性的管理，能够对自然资源开展智慧管理，能够激发一个城市的可持续发展的经济发展和高品质生活时，这个城市即可称为智慧城市。”[5]

上述这些对智慧城市的定义，都有一些共同的要素。总的来说，智慧城市是[6]：①有感知能力的(通过传感器感知周边环境)，②可连接的(通过网络设备将感知到的信息传送到网络)，③可公用的(环境周边的信息会被公开，所有网路的使用者都可以获得这些信息)，④普及的(使用者可以在任何时间任何地点，即使是在移动中都能获得信息)，⑤社会性的(使用者得到的信息可以在其社交平台上公开)，⑥可分享的(分享的不仅仅是数据，还有免费的设备)，⑦可视、扩充的(物理环境不断更新，信息不仅通过移动设备可见，而且在一些物质实体中，如路牌等处也可看见)。

值得注意的是，这些定义都缺少了之前提到的一点：智慧城市的“闭环”，这一点还没有被确定为CPS的最大价值。

### 3. 从“智慧城市为信息物理融合系统的观点”中得到的启发

在波士顿大学关于建立“信息-物理”基础设施工作的基础上,我们确定了几个问题以作为开展研究指导的原则。此外,通过在波士顿城市内部署智慧城市的应用程序,我们从负责策划部署的城市管理员和终端用户处得到了有价值的信息反馈。一些关键的信息现在整理如下:

(1)“智慧”不仅仅是数据的收集和传播。如图1所示,把一个智慧城市的CPS视作一个“闭环的系统”是非常重要的,甚至有时是最为关键的。简单地收集和传播数据到一个用户组有时是弊大于利的。例如,今天的“智能泊车”技术,本质上希望通知车主哪里有可以停车的车位,但结果却往往引导过多的车主来到一个只有少量空余车位的地点,造成更多的拥堵,车主反而找不到车位[7]。

(2)“意外后果原则”在智慧城市中能得到更好的发展。当拥有大量的新数据和服务需求的时候,人们总能开发出更多的创新的使用方法。当一个人不断开发新功能,并使其更简单、直观且易于使用的时候,有益的“意外后果原则”应运而生。因此,创建几个应用程序和建立一个用户友好的交互平台,可以显著促进创新,并且更加利于积累和传播数据。

(3)人们在智慧城市中的角色。技术本身无法改变一个城市或一个社区,要有必要的机制去刺激人们使用技术并适应“人类的循环”。就共享资源的高效管理而言,个人利益和社会最佳状态之间总会有基本冲突存在。城市的交通管控就是一个典型的例子,车主个人试图实现其个人利益,而这通常与整个司机群体的利益不相符[8]。虽然技术为实现“社会(或全球)最优”提供了手段,但是这个愿景不能被凭空强加。理解和尊重人类行为是CPS的一个重要组成部分,更准确地说CPS应该被称为“信息物理-社会系统”,这种措辞的重要性也意味着地方政府需要为制定和实施政策提供必要的激励,并实现智慧城市CPS技术的最大价值。

### 4. 智能城市的相关基础研究

从系统和控制理论的角度来看,一个智慧城市是一个高度的动态的随机混合系统[9],其众多问题只能通过跨学科的方法,将工程科学、计算机科学和社会科学

的研究人员召集起来以便共同解决。在实现智能城市的过程中,必须涉及若干研究领域,列举如下:

(1)传感和合作数据收集。这是智慧城市的开始,事实上也是任何CPS实施的开始。最关键的挑战是,我们想要的数据源以及与之互动的传感装置的分布高度不均匀。一个传感器网络可以被视为一个控制系统,它包括3个主要任务:覆盖范围的控制、数据来源的检测以及数据的收集。这3个任务间的相互作用尤为重要。

(2)在数据收集和处理过程中的安全、隐私和能源管理。如图1所示,数据收集和处理的整个过程都受到约束,有些是严格意义上的物理性的约束(比如有限的能源,主要体现在无线网络的建设上),有些是由法律、文化和经济形成的原则和规矩的约束。

(3)动态资源分配。大部分的智能城市功能最终都归结为对有限的可共享的资源管理,如运输能力、服务以及能量。城市环境的高度动态特性需要创新型的资源分配机制来实现,这已经超出了传统常规算法。例如,在行车过程中附近出现可用的车位,收集数小时车程外的车位信息的数据就显得毫无意义[8]。传统性能优化问题中的“响应时间”或“延迟”的概念已经不再实用,新的性能指标变成必要因素,上述情况同样适用于许多能量感知型资源领域,如电动汽车(EVs)。EVs在一个交通网络中的存在开辟了新一代的路由和调度问题[9]。

(4)数据驱动控制和优化。由于智慧城市中大数据的可得性,我们可以不再依赖于复杂的离线模型,而是基于实时数据来用新的方法加以控制和优化。同时,交通或其他复杂资源的随机性需求,使得数据的驱动机制更为必要。同时,激发了软件平台的需求,要求其冲破现有技术和制度的束缚,使数据更加有效地积累、存储和传播,并激发人们的创新能力。

(5)相互连接的自动汽车(CAVs)。新一代汽车的出现改写了汽车发展的历程,其影响十分深远,不仅表现在交通系统的性能方面,也表现在经济、环境和社会方面。CAVs能够减少能源的消耗和有害物质的排放,也会以不可预测的方式改变传统司机的行为,改变城市居民对驾驶的整体态度。因此,城市迫切需要将由CAV产生的运输效率的提升,以及其对“信息-物理”系统中其他基础设施的影响进行量化。

(6)跨学科研究。如前所述,没有市民的参与与配合,单单依靠技术本身是不能改变一个城市的。一个智慧城市实际上就是一个由人、科技、机构和信息组成的社会科技的有机系统。这个有机系统的合理设计和管

理，需要工程师、生态学家、社会学家们的共同合作与付出，开展大量跨学科之间的交流和研究。

## References

- [1] World's population increasingly urban with more than half living in urban areas [Internet]. New York: United Nations; c2016 [cited 2014 Jul 10]. Available from: <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>.
- [2] Vesco A, Ferrero F, editors. Handbook of research on social, economic, and environmental sustainability in the development of smart cities. Hershey: IGI Global; 2015.
- [3] Giffinger R, Fertner C, Kramar H, Kalasek R, Pichler-Milanović N, Meijers E. Smart cities: ranking of European medium-sized cities. Final report [Internet]. Graz: Asset One Immobilienentwicklungs AG; [cited 2007 Oct]. Available from: [http://www.smart-cities.eu/download/smart\\_cities\\_final\\_report.pdf](http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf).
- [4] Yoshikawa Y, Sato A, Hirasawa S, Takahashi M, Yamamoto M. Hitachi's vision of the smart city. *Hitachi Rev* 2012;61(3):111-8.
- [5] Meijer A, Bolívar MPR. Governing the smart sustainable city: scaling-up the search for socio-techno synergy [Internet]. In: Proceedings of 2013 EGPA Annual Conference; 2013 Sep 11–13; Edinburgh, UK; 2013. [cited 2014 Feb 8]. Available from: [https://www.scss.tcd.ie/disciplines/information\\_systems/egpa/docs/2013/BolivarMeijer.pdf](https://www.scss.tcd.ie/disciplines/information_systems/egpa/docs/2013/BolivarMeijer.pdf).
- [6] Jaokar A. Big data for smart cities [presentation]. In: Smart Cities Industry Summit; 2012 Sep 25–26; London, UK; 2012. [cited 2014 Feb 8]. Available from: <http://www.opengardensblog.futuretext.com/wp-content/uploads/2012/09/informa-smart-cities-ajit-jaokar.pdf>.
- [7] Geng Y, Cassandras CG. New "smart parking" system based on resource allocation and reservations. *IEEE Trans Intell Transp* 2013;14(3):1129–39.
- [8] Pourazarm S, Cassandras CG, Wang T. Optimal routing and charging of energy-limited vehicles in traffic networks. *Int J Robust Nonlin* 2016;26(6):1325–50.
- [9] Cassandras CG, Lygeros J, editors. Stochastic hybrid systems. Boca Raton: CRC Press; 2006.