

# 面向智慧城市的物联网基础设施关键技术研究

李晓辉

(华北计算技术研究所, 北京 100083)

**摘要:** 智慧城市是利用物联网等新一代信息技术实现城市智慧运行和管理的新型城市形态, 是信息技术与城市发展深度融合的产物; 针对当前智慧城市因碎片化、烟囱式发展模式而面临的重复建设严重、跨域资源难以共享与联动协同等突出问题, 从资源汇聚和促进城市应用互联互通互操作的角度, 定义了城市物联网基础设施的概念内涵, 提出城市物联网基础设施是一个涵盖“网络+平台+服务”的综合体, 分析总结了国内外政府与企业在城市物联网基础设施尤其是物联网平台方面的发展现状, 在此基础上, 研究提出了为实现城市物联网资源泛在接入、网络融合、资源管理和智能服务等核心功能亟需突破的关键技术, 最后给出了推动城市物联网基础设施快速发展的意见和建议。

**关键词:** 智慧城市; 物联网; 物联网基础设施; 互联互通互操作

## Research on Key Technologies of the IOT Infrastructure for Smart City

Li Xiaohui

(North China Institute of Computing Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Smart city is a new type of urban form, which uses the new generation of information technology such as the Internet of Things (IOT) to achieve the city intelligent operation and management. It is the product of the integration of information technology and urban development. Based on the in-depth analysis of the problems facing the development of smart city, the basic concept of the city IOT infrastructure is presented, the development situation at home and abroad is analyzed, the key technologies of the city IOT infrastructure are put forward, and at last some suggestions for promoting the development of the city IOT infrastructure are proposed.

**Keywords:** smart city; internet of Things (IOT); IOT infrastructure; interconnection and interoperability

## 0 引言

智慧城市是城市发展的高级阶段, 是信息技术与城市发展深度融合的产物。其核心是利用物联网、云计算、大数据等新一代信息技术, 实现透彻感知、泛在互联、普适计算与融合应用, 进而实现城市的智慧运行和管理, 促进城市和谐、可持续发展<sup>[1]</sup>。

智慧城市的概念一经诞生, 就受到国内外政府、企业、社会、学术界的高度重视, 引发了各国对智慧城市的研究和建设热潮。从社会学角度来看, 智慧城市的核心目标是实现城市的可持续发展, 重点表现在: 实现城市资源的优化整合和科学配置、打造集约高效的经济发展模式、提升幸福宜居的城市品质。从技术角度来看, 智慧城市是以新一代信息技术为基础, 通过对城市资源的统一汇聚, 推动城市多信息体系的协同交互, 实现城市任务的智能处理和智慧决策。

然而, 从当前智慧城市的发展来看, 仍面临很多问题和挑战, 其中最突出的一点就是: 目前智慧城市缺乏整体规划和设计, 城市信息系统建设多以满足单个部门的管理需求为主, 并没有从城市全局的角度形成响应市民和企业需求的有效模式。换言之, 当前的智慧城市建设仍处于碎片化、烟囱式发展阶段, 不仅重复建设严重, 投资浪费严重, 而且缺乏真正有效的手段支持城市级跨区域、跨行业、跨部门的资源

整合、共享、开放和协同。

物联网, 作为支撑智慧城市建设的重要技术手段, 是实现城市物理世界、信息系统和人类社会全面感知与高效互联的基础。打造面向智慧城市的物联网基础设施, 不仅能够从城市全局角度实现资源汇聚、促进城市应用互联互通互操作, 而且能够减少重复、节约投资, 推动实现城市基础设施集约化建设、应用系统生长式发展以及智慧服务专业化运营, 从而真正实现城市治理的高效运转和科学管理。

本文在深入剖析智慧城市发展面临问题的基础上, 定义了城市物联网基础设施的概念内涵, 分析总结了其国内外发展现状, 研究提出了城市物联网基础设施的关键技术, 最后给出了推动城市物联网基础设施快速发展的意见与建议。

## 1 城市物联网基础设施概念内涵

基础设施, 通常是指能为社会生产和居民生活提供公共服务的工程系统, 它是保证一个国家或地区生存发展的重要物质基础。

城市基础设施, 则是指城市生存和发展所必须具备的工程性基础设施和社会性基础设施, 是城市中为顺利进行各种经济活动和其他社会活动而建设的各类设施的总称<sup>[2]</sup>。城市基础设施既包括供水、供电、交通、环境、防灾等工程性硬基础设施, 也包括医疗、教育、金融、文化等社会性软基础设施, 还包括由计算机、网络、通信设施等构成的信息基础设施。

城市物联网基础设施属于信息基础设施中的一种。目前, 尚无针对城市物联网基础设施的统一定义。在分析总结基础设施概念内涵的基础上, 结合物联网在未来智慧城市中的应用价值, 本文提出城市物联网基础设施的参考定义如下:

收稿日期: 2017-05-10; 修回日期: 2017-05-15。

基金项目: 中国电科主导类创新基金项目(JJ120102)。

作者简介: 李晓辉(1980-), 女, 湖南邵东人, 博士, 高级工程师, 主要从事物联网体系结构、物体服务、物联网开放中间件等方向的研究。

城市物联网基础设施,指的是为了实现城市级物联网应用与服务所构建的,由一系列软件、硬件、网络、协议等信息资源组成的,可用于部署的通用资源的集合。

在该定义中,强调了以下几个重点:

1) 从基础设施的类型来看,城市物联网基础设施是信息基础设施的一种,不同于一般的市政工程设施,它主要由软件、硬件、网络、协议、服务、应用程序接口等信息资源构成。

2) 从基础设施的特征来看,城市物联网基础设施具备所有基础设施的共性特征,即基础性、规模性、公共物品性。基础性,指的是它就像城市水电气等“三通一平”的基础设施一样,是未来城市物联网应用运行的基础载体,并以此成为未来城市发展过程中需要先行建设的内容。规模性,指的是必须达到一定的建设规模才能提供服务或者有效的提供服务。公共物品性,指的是它能够提供给未来城市物联网应用所需要的各种公共服务,成为面向公众的公共物品。

3) 从发展需求来看,城市物联网基础设施要实现的是“城市级”的物联网应用与服务支撑,一是要实现城市资源的统一汇聚,二是要实现城市资源的高效配置,三是要实现城市资源的开放共享,最终打造一个人与人、人与物、物与物泛在互联的融合生态系统。

4) 从能力需求来看,城市物联网基础设施应当具备支持万物互联、智慧服务的核心能力。物联网在智慧城市中的应用大致可分为三个阶段,首先是解决海量物体接入网问题,其次是解决物联大数据深度开发利用问题,再者是解决如何按需提供物联服务问题。因此,城市物联网基础设施不仅仅是网络,而应该是一个涵盖“网络+平台+服务”的综合体,能够提供泛在连接、网络融合、资源管理、智能处理、服务封装等核心功能,具体包括:

(1) 泛在连接能力:支持各种长短距离、有线无线、高中低速、宽带窄带网络接入方式(如RFID、蓝牙、ZigBee、Wifi、3G/4G/5G、NB-IOT、Lora等);

(2) 网络融合能力:支持异构网络互联和异构网络协议融合,支持跨网通信、跨网传输、跨网数据交换;

(3) 资源管理能力:支持海量多元异构物联资源的命名标识、接入管理、搜索查询和协同调度;

(4) 智能处理能力:支持物联大数据的处理、挖掘和共享;

(5) 服务封装能力:支持物体、数据、服务等各类资源的服务化封装和应用开发支持,实现物联即服务。

应当说,城市物联网基础设施是智慧城市建设的重要基础。技术层面,能够支撑实现城市感知资源汇聚、信息资源共享、应用互联互通。管理层面,能够打破信息孤岛,支持跨部门、跨行业、跨区域的联动和协同。服务层面,能够助推城市发展从碎片化向开放共享升级,从行业级向城市级升级,打造开放共享的城市经济新形态。

## 2 国内外发展现状

物联网的概念最早可追溯到1999年美国麻省理工学院Ashton教授提出的基于射频识别(RFID)的理念<sup>[3]</sup>,但它在智慧城市中的应用则是近些年才逐步兴起的。究其原因,一方面是因为物联网的概念内涵在不断演化和发展,从早期基于RFID的物联、到基于局域网络的物联,再到基于互联网的

物联,逐步体现出万物互联的支撑能力。另一方面是因为智慧城市的建设理念也在不断演化和发展,从早期的数字化、网络化再到智能化,逐步体现出互联互通、共享共治的发展需求。

总体来看,政府、企业、学术界等对物联网及其在智慧城市中的应用高度重视。政府多从国家战略高度制定发展计划,推动国家基础设施的建设和发展。企业多以物联网平台等构建物联基础设施的核心产品为突破口,抢占产业链关键环节。学术界则在网络体系架构、边缘计算、物理信息系统(CPS)等方面不断探寻新型计算模式,以期解决泛在连接、网络融合、智能处理等方面的关键技术,推动物联网快速发展。

### 2.1 政府方面

美国在物联网和智慧城市方面一直走在前列。2008年,IBM首次提出“智慧地球”战略,次年便向美国总统提出加大智慧型基础设施建设的建议。随后,美国政府出台了《2009年美国复兴与再投资法案》,明确提出在与物联网技术相关的智能电网、卫生医疗信息技术应用和教育信息技术等方面进行大量投资。此后,美国政府又先后发布了先进制造伙伴计划、总统创新伙伴计划等,明确提出将以物联网技术为基础的网络物理系统(Cyber-Physical System, CPS)<sup>[4-5]</sup>列为扶持重点,并在此过程中提出了“工业互联网(Industrial Internet)”的概念。2015年,美国又宣布投入1.6亿美元推动智慧城市计划,将物联网应用试验平台列为首要建设任务。

欧盟从2008年10月开始实施物联网战略,并由欧洲物联网研究总体协调组(IERC)进行统一规划和管理。其中最具有代表性的“欧盟第七框架计划(FP7)”,下设了IOT-A、IOT6、open IOT等一系列物联网研发项目<sup>[6-7]</sup>,并在智能电网、智慧城市、智能交通等方面积极部署。2013年,欧盟通过了“地平线2020”计划,明确提出物联网和智慧城市是重点发展领域之一,并于2014年投资9200万欧元重点发展节能、交通、ICT基础设施三大方向。欧盟前成员国英国大力发展物联网与电网、分布式电源等设施的深度融合,以实现能源全流程实时监测和预测预警。西班牙巴塞罗那提出打造将环境和能源、交通、水资源管理、生活质量等不同领域的传感数据进行整合分析的城市管理服务平台。西班牙桑坦德提出打造“城市脉搏”,汇聚遍布全城的传感器和人体传感器数据,通过移动APP提供城市管理和生活服务。

日本于2009年制定了“i-Japan”计划,提出建立“以人为本、安心且充满活力的数字化社会”。韩国2004年推出“u-Korea”计划,提出将物联网等技术包含在所有的城市元素中,让市民可以在任何时间、任何地点、从任何设备访问和应用城市元素<sup>[8]</sup>。新加坡2006年起先后推出“智慧国2015”、“智慧国2025”计划,旨在打造覆盖全岛的集数据收集、连接和分析于一体的基础设施和操作系统,用于提供更好的公共服务<sup>[9]</sup>。

我国政府对物联网和智慧城市的发展也高度重视。先后出台了《关于推进物联网有序健康发展的指导意见(2013)》、《关于促进智慧城市健康发展的指导意见(2014)》等一系列国家文件,均是从国家顶层视角明确提出针对物联网和智慧城市发展的总体思路与建设目标,尤其提到要加快发展物联网基础设施建设,将物联网和智慧城市推入统筹发展的新阶段。

### 2.2 企业方面

物联网平台是构建物联网基础设施的重要组成,也是企

业抢占物联网生态链的重要环节。

国外企业中,谷歌推出基于 Android 的物联网操作系统 Brillo,并基于此积极布局车联网领域。微软推出物联网操作系统 Win10IOTCore,提供面向物联网的云服务,协助企业简化物联网在云端的应用部署和管理。IBM 积极布局物联网大数据平台,并联合思科、通用电器等共同发起成立了工业互联网联盟(IIC),致力于实现传感器、计算机、企业、车辆和数以百计工业设备的全面整合,构建工业互联网及云集成服务。此外,还有 Xively、Nimbbits、Thingspeak、Device Cloud by Etherios 等公司,都在打造开放通用的物联网平台和云平台,解决设备接入、管理、服务化等问题。

国内企业中,华为提出“1+2+1”战略,第一个 1 就是指要打造一个集收集、管理、处理、应用开发支持等于一体的物联网平台。中兴积极布局智能交通、物联网通信等领域,也在主推物联网平台建设。阿里从与美的的战略合作起步,积极打造基于阿里云的物联网平台,从最初实现对家电产品的连接和远程控制,到后来不断深入布局智能家居、车载系统和智能硬件等领域,预期将实现数十亿设备的接入。腾讯 2014 年推出 QQ 物联腾讯社交智能硬件开放平台,力图借助微信用户优势,实现“连接物体连接人,连接一切”的目标。小米依靠自身硬件体系优势,推出以小米盒子、小米路由器等为代表的智能家庭套装,打造连接所有智能家居产品的物联网平台<sup>[10]</sup>。此外,中移动推出的物联网设备云(OneNet)和业务管理平台、Yeelink 推出的家庭智能控制平台、中国电科推出的 e-Things 开放物联网平台<sup>[11]</sup>等,都具有很强的代表性,是打造物联网基础设施的重要产品。

### 3 城市物联网基础设施关键技术

城市物联网基础设施要解决的核心问题,主要是城市物联资源的泛在接入、网络融合、资源管理和智能服务。其中,城市物联网基础设施体系框架、城市物联资源统一描述与泛在接入技术、城市物联资源统一标识与跨域寻址技术、城市物联资源动态服务与共享技术,是其中的重点和难点。

#### 3.1 城市物联网基础设施体系框架

体系指的是若干有关事物或概念互相联系而构成的整体,框架指的是体系中各组成部分之间的层次和关系。体系框架可以理解为一个系统的顶层设计和基本架构,它是指导系统设计、开发、管理和应用的指南与原则。

城市物联网基础设施是一项涉及网络、通信、平台、资源、服务等多要素、多领域、多学科的复杂工程,其组成并不是一些简单紧耦合的模块或子系统,而是由众多自主演化、独立运行、松散耦合的网络或系统组成。因此,设计一套既满足当前基础设施部署和应用需求,又科学、合理、可扩展的体系框架,颇具挑战。具体解决思路,一是要采用体系工程的方法与理念进行顶层设计与规划;二是要在充分理解需求的基础上,以提升城市物联网应用互操作性为核心,从跨域的集成、共享和安全角度出发,认真设计层次结构、支撑关系、协同关系、数据策略、服务模式 and 接口关系,形成开放的体系框架。

根据城市物联网基础设施的概念内涵和能力需求,提出一个参考框架如图 1 所示。

该框架强调了城市物联网基础设施是一个“网络+平台

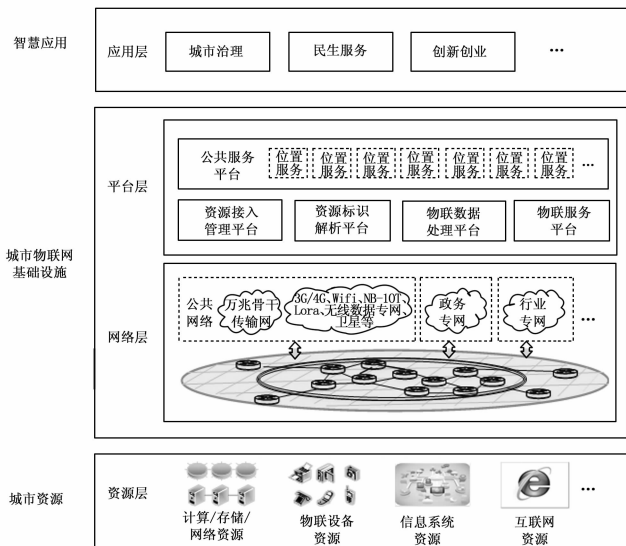


图 1 城市物联网基础设施参考体系框架

+服务”的综合体,其中:

1) 网络突出了“城市统一网络”的概念,支持光纤网、无限通信网、政务专网、行业专网等多种异构网络在接入、传输等方面的融合。

2) 平台提供了基础设施运行的实体环境,包括计算设备、存储设备、数据资源、平台软件等。其核心能力主要包括三个方面:一是对下能够实现对城市级物联资源的统一接入、管理、处理等基础功能;二是对上能够以服务接口的方式为应用提供共性支撑和开发支持;三是能够提供包括位置、通信、消息、搜索等在内的城市级公共服务,为实现物联增值服务和基础设施运营提供支撑。

可以看到,未来的城市物联网基础设施将不仅仅是网络,提供的服务也不止是通信传输,承载实体也不止是硬件设备,而是一个集计算、感知、控制、通信、服务等功能于一体、灵活/健壮/扩展性强/高度智能的新型基础设施。

#### 3.2 城市物联资源统一描述与泛在接入技术

城市中能够接入物联网的资源种类繁多、功能各异。典型的城市场资源包括计算、存储、网络等计算资源,传感器、执行器、M2M 设备等物体资源,以及城市信息系统、互联网网络中的各类信息资源等。资源的异构性导致其在网络接口、通信协议、传输格式、数据格式、交互方式等方面存在很大差异,一个典型问题就是资源在网络中无法互相识别、理解和交互。因此,城市物联资源统一描述与泛在接入技术,为解决该问题的核心与关键。

城市物联资源统一描述与泛在接入技术有两个关键点,一是要解决资源连接特征的抽象化,建立普适的连接规则和方法,支持资源的泛在接入;二是要解决资源的语义一致性理解,建立普适的描述模型,支持设备、数据、服务在网络中的交互与协同。

具体来说,在连接特征抽象化方面,需要提供表征虚拟设备或物体的能力模型(如感知能力、控制能力、连接能力、通信能力等)、应用与设备/网关之间的信息映射模型、以及统一的数据表示结构等。在语义一致性理解方面,需要提供针对资源或应用的语义描述模型、语义描述管理机制(如创

建、删除、连接、更新等)、不同语义描述的模型语言之间的互操作机制、基于语义描述的资源发现能力、基于语义描述的数据分析能力、语义混聚(Mash-up)能力等。

### 3.3 城市物联资源统一标识与跨域寻址技术

资源标识是实现网络中资源识别与管理的基础。基于统一的网络标识,才能进行资源通信和信息交换。然而,目前城市资源标识体系面临很多问题和挑战:一是城市物联资源来源复杂,异构性、分散性、规模性、跨域性等特征明显,标识编码的难度很大。二是目前已有的标识体系种类繁多,缺乏统一标准,导致各体系之间兼容性、扩展性、互联互通性不强。三是城市物联资源及其在网络中产生的数据将是海量规模,对标识的解析(即寻址能力)在高并发、低延时、高可靠、高安全等方面提出了更高的要求。因此,城市物联资源统一标识与跨域寻址技术是亟需突破的重点和难点。

城市物联资源统一标识与跨域寻址技术有两个关键点:一是资源统一标识,二是基于标识的跨域寻址。

在资源统一标识方面,根据标识的作用不同,可以分为对象标识、通信标识和应用标识<sup>[12-13]</sup>。对象标识主要用于识别物联资源的身份和属性,如以一维码、二维码作为载体的UPC码、EAN码,以RFID作为载体的EPC码、OID码、uCode码等;通信标识主要用于识别通信地址,如IPV4、IPV6等;应用标识主要用于识别基于业务应用的地址,如域名、URL等。资源统一标识的难点是设计一套能够兼容不同标识体系的统一标识规则。在基于标识的跨域寻址方面,主要是针对城市物联资源寻址在跨域性、并发性、实时性、安全性等方面的需求,设计多级分层、多级授权的分分布式架构(可以有中心的,也可以是无中心的),实现不同网络中物联资源的统一查询、关联和访问。

### 3.4 城市物联资源动态服务与共享技术

资源服务指的是针对物联资源的功能接口进行服务化封装,为上层应用提供统一的调用机制。它是解决智慧城市异构应用、异构系统、异构设备之间联动与协同的重要手段。对于城市物联资源来说,其最关键的共性问题就是解决城市物联资源是谁、在哪、怎么交互。资源描述和资源标识重点解决是谁、在哪,资源服务则重点解决怎么交互、进而解决联动与协同问题。因此,城市物联资源动态服务与共享技术,对于构建城市物联网基础设施来说十分关键。

其重要作用主要包括两个方面:一是能够通过服务化方式将城市物联资源由传统的数据源变成具备可重构能力的服务单元(如位置服务、消息服务、数据服务等),并以服务组合的方式提供丰富的服务类型供上层应用灵活调用,这将极大简化业务与应用系统的开发工作量。二是通过服务封装的形式能够屏蔽底层设备、运行环境、网络协议等的异构性和复杂性,从而在应用层面实现互操作。研究重点主要包括基于本体的服务集成、面向物体的服务应用、物体服务动态协同框架、物体服务共享机制等。

## 4 发展趋势与发展建议

城市物联网基础设施,作为城市现行信息基础设施的升级和扩展,将在支撑未来城市智慧应用方面发挥重要作用。开放,是城市物联网基础设施发展的一个重要趋势,其内涵主要包括以下几个方面:

1) 对城市资源的提供者开放,政府、企业、民众等,都能将各自所有的设备资源、数据资源、服务资源接入到基础设施中来,不断提升公共资源的承载量;

2) 对智慧应用的开发者开放,为第三方开发者提供开发工具、开发接口、部署环境,不断提升公共应用的承载量;

3) 对最终用户开放,为用户提供包括位置、通信、消息、搜索等在内的城市级公共服务,成为具有运营价值的公共服务平台,推动城市共享经济的升级与发展。

城市物联网基础设施的发展,不是简单的系统建设,也不是简单的工程行为。应当从打造国家在物联网时代的核心竞争力、推动智慧城市和物联网有序健康发展的高度来看待其发展,建议重视以下几个方面:

1) 深化城市物联网基础设施关键技术攻关,完善技术体系;

2) 加快城市物联网基础设施标准研究,形成标准体系;

3) 与城市建设规划密切结合,先行先试,分步建设,做好与已建、在建、新建系统的无缝衔接与过渡;

4) 结合城市需求和新技术发展,不断修正城市物联网基础设施的概念内涵,积极探索新型应用模式和商业模式。

### 参考文献:

- [1] Wuhan Library. A survey of smart cities around the world [EB/OL]. <http://www.vsharing.com/k/net/2012-3/A656314.html>, 2012.
- [2] 熊璋. 智慧城市 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [3] Sarma S, Brock D, Ashton K. Proposals for engineering the Next Generation of Computing, Commerce & Automatic Identification [Z]. USA: MIT Auto-ID center, 2010.
- [4] National Science Foundation of the United States. Cyber physical system (CPS) program solicitation [EB/OL]. <http://www.nsf.gov/pubs/2010/nsf10515>, 2012.
- [5] Lee E A. Cyber Physical Systems: Design Challenges [C]. IEEE ISORC, 2008.
- [6] Presser M, Barnaghi P M, Eurich M, Villalonga C. The SENSEI project: Integrating the physical world with the digital world of the network of the future [J]. Global Communications Newsletter, 2009, 47 (4): 1-4.
- [7] Carsten Magerkurth. Concepts and solutions for entity-based discovery of IoT resources and managing their dynamic associations [Z]. Europe: IoT-A project deliverable report D4. 3, 2012.
- [8] Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI) of the Republic of Korea. Requirements for support of USN applications and services in NGN environment [C]. Geneva, Switzerland: Proceeding of the ITU NGN global standards initiative (NGN-GSI) rapporteur Group meeting, 2007.
- [9] 翟立柱. 政府全力推动新加坡加速迈向智慧国 [J]. 通信世界, 2010, (28): 30-30.
- [10] 中国信息通信研究院. 物联网白皮书(2015年) [Z]. 北京: 中国信息通信研究院, 2015.
- [11] 中国电子科技集团公司. 2015 物联网开放体系架构白皮书 [Z]. 北京: 中国电子科技集团公司, 2015.
- [12] 工业和信息化部电信研究院. 中欧物联网标识表皮书(2014年) [Z]. 北京: 工业和信息化部电信研究院, 2014.
- [13] N Koshizuka, K Sakamura. Ubiquitous ID: Standards for Ubiquitous Computing and the Internet of Things [J]. IEEE Pervasive Computing, 2010, 9 (4): 98-101.