

全球物联网发展及中国物联网建设若干思考

宁焕生, 徐群玉

(北京航空航天大学电子与信息工程学院, 北京 100191)

摘 要: 本文首先对物联网的概念及内涵进行分析, 并从“物联感知”角度统一了对物联网各类概念的理解; 综述了全球物联网发展现状, 包括美国、欧盟、日本和中国对物联网发展的战略规划和应用概况; 然后详细探讨了当前物联网发展的若干关键技术, 主要包括标识技术、体系架构、网络通信、搜索发现、数据处理、安全隐私、标准化和管理, 并指出其中尚需研究的问题; 最后从国家、企业和学术层面对我国物联网建设提出了若干建议, 为中国物联网的发展和研究提供参考。

关键词: 物联网; 标识; 架构; 安全隐私; 标准; 管理

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 11-2590-10

Research on Global Internet of Things' Developments and It's Lonstruction in China

NING Huan-sheng, XU Qun-yu

(School of Electronic and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: This paper interprets the Internet of Things (IoT) definitions and gives our understanding for the IoT concept in terms of “Sensor network of Things”, and describes the global developments and international strategic plans towards this technology in US, Europe, Japan and China. Key technologies are further discussed in detail, with a focus on Identification Technology, Architecture Technology, Communication and Network, Search and Discovery Service, Data Processing, Security and Privacy, Standardization and Governance. Some advice are given for China IoT Construction within three aspects: national, industrial and academic Dimensions. The paper aims to provide reference for the research and development of China IoT.

Key words: Internet of Things (IoT); identification; architecture; security and privacy; standardization; governance

1 引言

“物联网”概念一经提出, 立即受到了各国政府、企业和学术界的重视, 在需求和研发的相互推动下, 迅速热遍全球。目前, IBM 提出的“智慧地球”战略已正式提升为美国的国家战略, 奥巴马政府希望通过物联网技术, 能掀起如当年“信息高速公路”战略一样的科技和经济浪潮, 继续成为管理全球的战略工具。国内对“物联网”的关注也随之急剧升温, 前不久, 国务院已将物联网上升为国家五大战略性新兴产业中的第二位。由于物联网涉及到未来网络和信息资源的掌控与利用, 我国非常重视物联网的建设, 希望通过积极参与国际物联网的概念设计, 框架规划和标准制定, 能够掌握物联网时代的世界话语权, 并抢占下一代信息技术领域的制高点, 不再像互联网时代那样主要由美国主导。

目前总体上来说, 全球物联网还是停留在概念和研发的起步阶段, 有关物联网定义^[1,2]还存在一些混乱, 物联网技术的一些重大共性问题^[3,4] (如架构, 标识编码, 安全以及标准等) 也未得到解决, 更未在各国间达成共识。因此, 从科学研究的角度看, 物联网还存在许多值得思考的问题。本文首先对“物联网”的概念及内涵进行了分析, 阐述了物联网的定义, 以及与传感网, M2M 和云计算等概念的关系, 并从“物联感知”的角度统一了对物联网各类概念的理解; 然后综述了全球物联网的发展现状, 主要包括美国、欧盟、日本和中国对物联网发展的战略部署、运营和应用概况; 详细探讨了当前物联网发展的若干关键技术, 点出其中尚需研究和亟待解决的问题; 最后分别从国家、企业界和学术层面提出了我国物联网建设的若干建议, 为我国物联网建设和技术研发提供参考。

2 物联网的概念及内涵

2.1 物联网定义及其演进

1999 年,MIT Auto ID Center 给出较早的“物联网”定义为:在计算机互联网的基础上,利用 RFID、无线数据通信等技术,构造一个覆盖世界上万事万物的网络(Internet of Things),以实现物品的自动识别和信息的互联互通^[5,6]。2005 年,国际电信联盟(ITU)发布的《ITU 互联网报告 2005:物联网》^[7]中正式给出了“物联网”概念并对其涵义进行了扩展,指出物联网是互联网应用的延伸,“RFID、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术”将是实现物联网的四大核心技术。2009 年,自 IBM 提出“智慧地球”^[8]后,物联网在世界范围再掀热潮,发展物联网技术被迅速纳入多个国家的重大信息发展战略中。

物联网概念发展至今虽有十余年,但仍未有一个明确统一的定义。EPC^[9,10](电子产品代码,Electronic Product Code)是早期国际上典型的物联网概念模型,它的本质就是“RFID 技术加互联网”。每一个物品都被赋予一个独一无二的 EPC 代码,将这个 EPC 代码存储在 RFID 标签中并贴在物品上,同时将这个代码所对应的详细信息和属性存储在互联网上的 EPCIS(EPC 信息服务,EPC Information Service)服务器中。当物品从生产到流通的各个环节中被识别并记录时,通过 ONS(对象名解析服务,Object Naming Service)的解析可获得物品所属信息服务系统的 URI(统一资源标识,Universal Resource Identifier),进而通过网络从 EPCIS 中获得其代码所对应的信息和属性,以进行物品识别,实现对物流供应链的自动追踪管理。

欧盟在 2009 年 9 月公布的一份 CERP-IoT SRA^[4](欧洲物联网项目战略研究议程,Cluster of European Research Projects on the Internet of Things Strategic Research Agenda)中,将“物联网”定义为:物联网将是未来互联网不可分割的一部分,是一个动态的全球网络架构,它具有基于一定的标准和互用的通信协议的自组织能力。其中物理的和虚拟的“物”均具有身份标识、物理属性和虚拟特性,并应用智能接口可以无缝链接到信息网络。与此同时,《欧盟物联网行动计划》(Internet of Things - An action plan for Europe)^[11]中明确指出物联网将具有三方面本质特性:第一,不能简单地将物联网看作今天互联网的延伸,物联网建立在特有基础设施上,将是一系列新的独立系统,当然,部分基础设施仍要依存于现有的互联网;第二,物联网将伴随新的业务共同发展;第三,物联网包括多种不同的通信模式,如物与人通信,物与物通信。

目前国内较为多见的定义^[12]为:“物联网,指利用各种信息传感设备,如射频识别装置、红外传感器、全

球定位系统、激光扫描等种种装置与互联网结合起来而形成的一个巨大网络,其目的就是让所有的物品都与网络连接在一起,方便识别和管理。并认为物联网应该具备三个特性:一是全面感知,即利用各种可用的感知手段,实现随时即时采集物体动态;二是可靠传递,通过各种信息网络与互联网的融合,将感知的信息实时准确可靠地传递出去;三是智能处理,利用云计算等智能计算技术对海量的数据和信息进行分析和处理,对物体实施智能化控制”。

2.2 物联网与传感网,M2M,云计算等概念间关系

狭义的“传感网”(Sensor Networks)^[13,14],就是由传感器构成的网络,利用大量的微型传感计算节点通过自组织网络以协作方式进行实时监测、感知和采集各类环境或监测对象的信息。目前,该技术主要是以微型传感模块和组网模块共同构成的网络,缺乏接入互联网的能力;并且多为感知信号,并不强调对物体的标识。因此从这种视角来看,“物联网”的概念比“传感网”大,物联网感知物的手段,除了传感器,还有条码,RFID 等。那么随着互联网技术的进步和多种接入网络以及智能计算技术的发展,“传感网”的内涵和外延也发生了显著的变化。广义的“传感网”^[14]是指以物理世界的信息采集和信息处理为主要任务,以网络为信息传递载体,实现物与物,物与人之间的信息交互,提供信息服务的智能网络系统。本文认为,IT 领域的很多概念都会随着人们的认识、环境和技术的发展而演变,那么关键是透过不同视角的表面去把握对本质问题和共性基础的认识,因此扩展后的传感网概念与物联网的区别不是太大。

“M2M”^[15](机对机,Machine to Machine)通信,是物与物通信模式中的一种,主要包括了机器对机器,机器对移动电话和移动电话对机器的无线通信,以实现设备的实时数据在系统之间、远程设备之间的无线连接。而物联网包括了多种不同的通信模式,如物与人,人与物,以及物与物的通信。因此可以说,“M2M”并不能称为真正的物联网,可以理解为属于物联网技术体系中的一环,或者说是物联网概念的一种形态。

“云计算”^[16]是一种理想的网络应用模式,即通过网络以按需求、易扩展的方式获得所需服务。终端使用者不需了解其中的细节和相应的专业知识,也无需直接进行控制,只需关注自己真正需要什么样的资源以及如何通过网络来得到相应服务即可。它的目的是解决互联网发展所带来的巨量数据存储与处理问题。目前,无论是互联网巨头 Google、Amazon,还是软件巨头微软,IT 巨头 IBM、SUN、Apple,都在加大对“云计算”的投资和研发力度,力争掌握主动权。随着物联网的发展,相信其带来的海量数据存储与计算问题将更需要云计

算技术的支持.因此可以说,“物联网”和“云计算”的关系是相辅相成的,云计算的技术进步,将会带动物联网产业更为快速的发展.

2.3 关于物联网各类概念的统一理解

本文认为,物联网定义的本质在于关键的两点:物联和感知.首先,物联就是实现物物互联,其中互联的方式很多,除了需要各类通信网络之外,终端区的物联方式包括接触式和非接触式(如压力传感器属于典型的接触式,RFID技术为典型的非接触式).此外,物联网的精髓在于“感知”,在物联的基础上利用各类智能处理手段实现对人、对物、对物理世界和虚拟世界万事万物的感知和控制.若从仿生学角度理解物联网可能更直观:一个典型的物联网结构很类似于人的神经系统,首先具备各类神经元、神经、脊柱和脑,然后这些器官能够分工协作以完成各类功能,如运动、操作、记忆、思维等各类活动.物联网终端的感知设备类似于人体的各类神经元,能够完成各类感觉(如视、听、闻、触等);物联网的智能系统和感知中心类似于低级神经中枢和大脑.因此,本文认为,称之为“物联感知网”可能更容易理解一些(相当于“广义传感网”),那么中国的物联感知网就可以简称为“感知中国”,世界物联感知网可以称之为“感知世界”(相当于“智慧地球”).物联感知网在各类场合的具体应用系统实际上就是各类智能系统(相当于“智慧电力”、“智慧银行”等等).

3 全球物联网的发展现状

业内专家认为,“物联网”涉及到下一代信息网络和信息资源的掌控利用,有望成为管理全球的主要工具之一,因此受到了各国政府、企业和学术界的重视.目前,美国、欧盟、日本等国家都在投入巨资深入研究物联网;我国政府也重视中国物联网建设.从某种意义上讲,很多国家是在物联网技术与发展并不十分明朗的情况下,迫于形势而纷纷致力于物联网的规划、研发和产业推进工作的.

3.1 “物联网”在国外的发展

在美国,自从2009年IBM推出“智慧地球”概念后,“智慧地球”框架下的多个典型智能解决方案已经在全球开始推广^[8].智慧地球想达到的效果是利用物联网技术改变政府、公司和人们之间的交互方式,从而实现更透彻的感知,更广泛的互联互通和更深入的智能化.因此,美国各界非常重视物联网相关技术的研究,尤其在标准、体系架构、安全和管理等方面,希望借助于核心技术的突破能占有物联网领域的主导权.同时,美国众多科技企业也积极加入物联网的产业链,希望通过技术和应用创新促进物联网的快速发展.

在欧洲,“物联网”概念受到了欧盟委员会(EC)的

高度重视和大力支持,已被正式确立为欧洲信息通信技术的战略性发展计划,成为近三次国会讨论关注的焦点^[1].2008年EC制定了欧洲物联网政策路线图;2009年正式出台了四项权威文件^[1,3,4,11],尤其《欧盟物联网行动计划》,作为全球首个物联网发展战略规划,该计划的制定标志着欧盟已经从国家层面将“物联网”实现提上日程.除此之外,在技术层面也有很多相关组织致力于物联网项目的研究,如欧洲FP7项(CASAGRAS),欧洲物联网项目组(CERP-IoT),全球标准互用性论坛(Grifs),欧洲电信标准协会(ETSI),以及欧盟智慧系统整合科技平台(ETP EPoSS)等.同时,欧洲各大运营商和企业在物联网领域也纷纷采取行动,加强物联网应用领域的部署.如Vodafone推出了全球服务平台及应用服务的部署,T-mobile、Telenor与设备商合作,特别关注汽车、船舶和导航等行业等.

在日本,2004年MIC(总务省,Ministry of Internal Affairs and Communications)提出“U-Japan”战略^[17],目的是通过无所不在的泛在网络技术实现随时、随地、任何物体、任何人(Anytime, Anywhere, Anything, Anyone)均可连接的社会,受到了日本政府和索尼、三菱、日立等大公司的通力支持.此前,日本政府紧急出台了数字日本创新项目“ICT 鸠山计划行动大纲”^[18],此宏观性的指导政策更是推动了日本物联网技术的快速发展.

此外,新加坡公布的“智慧国2015”大蓝图,澳大利亚、新加坡、法国、德国等国家都在加快下一代网络基础设施建设步伐.

3.2 “物联网”在国内的发展

自从2009年8月温家宝总理提出“感知中国”后,“物联网”一时成为国内热点,迅速得到了广泛关注.加快物联网技术研发,促进物联网产业的快速发展已成为国家战略需求.

政府目前为物联网的发展营造了良好的政策环境,《国家中长期科学与技术发展规划(2006-2020)》,2009-2011年电子信息产业调整和振兴规划,2010年“新一代宽带移动无线通信网”国家科技重大专项中“短距离无线互联与无线传感器网络研发和产业化”,国家重点基础研究发展计划(973计划)在信息领域中的“物联网体系、理论建模与软件设计方法”,以及国家自然科学基金委员会-中国工程院“中国工程科技中长期发展战略研究”联合基金项目在“信息与电子工程技术领域”中的面向“物联网”的未来网络技术发展战略研究,等都将“物联网”相关技术列入重点研究和支持对象.物联网的发展也受到了国家各大部委和地方政府的大力支持.未来各部委可能将从不同的角度进行分工协作以共同推动我国物联网产业的发展,如国家科技部主要支持物联网方面的共性基础研发和各类应用;工

信部主要负责支持物联网产业在工业领域以及工信融合领域中的应用;发改委主要负责我国物联网产业发展规划和重大工程示范。地方政府也在积极行动,如无锡市正在建设物联网技术研究院,积极打造物联网产业基地;北京市已将物联网技术纳入北京市发展规划,大力推进“感知北京”示范工程建设;广东省也启动了南方物联网的框架性设计,正在加快试点工程建设。

同时,我国各大电信运营商也纷纷将物联网作为未来移动互联网的重点发展方向,高度重视“物联网”业务的发展。如在 2009 年中国国际信息通信展上,中国移动的手机钱包和手机购电业务;中国电信的“平安 e 家”和“商务领航”业务以及中国联通的 3G 污水监测业务,都显示了我国三大运营商在物联网应用中进行了尝试,并在筹建各自的物联网研究院。

目前,国内很多科研机构也积极致力于“物联网”的研发,如中科院上海微系统与信息技术研究所、清华大学、北京邮电大学、东南大学、南京邮电大学、重庆邮电大学等科研单位已在无锡成立了“物联网研究中心”;北京航空航天大学在物联网科普基础研究和产业政策方面也做了一些研究^[19~23]。

国内企业界和百姓也对物联网抱以很大兴趣,甚至连与 RFID、物联网沾点边的上市企业也被称之为“物联网板块”,受到证券市场的日益关注。海尔公司称其在 2010 年初已推出了全球第一台物联网冰箱。

3.3 全球“物联网”应用概况

物联网用途广泛,遍及公共服务、物流零售、智能交通、安全、家居生活、环境监控、医疗护理、航空航天等多行业多领域^[2,4,11],可以说涵盖了我们身边的工业、环境和社会的各个领域。

目前,全球物联网的总体状况还停留在概念和试验阶段,要真正达到物物互联,实现物联网的全球应用,尚需很长时间。EPoSS 在“Internet of Things in 2020^[2]”报告中分析预测,全球物联网的发展将历经四个阶段,2010 年之前 RFID 被广泛应用于物流、零售和制药等行业领域;2010-2015 年实现物体互联;2015-2020 年物体进入半智能化,2020 年后物体进入全智能化。

我国目前在应用需求和政府大力支持的相互推动下,物联网在很多应用领域已进入规划和论证阶段,有的已开展试点应用。

4 当前物联网发展的若干关键技术

物联网涉及的技术很多,本文将从当前物联网发展的几个主要关键技术进行阐述。

4.1 物联网标识技术

标识技术,涉及到前端数据的采集与物体的身份识别,是实现物联网的核心关键技术之一。目前,随着

技术的进步和“物联网”概念的发展,物联网涉及的物体识别手段很多,包括条码,RFID,WSN,雷达,视频,红外等等多种标识手段。所有这些识别系统之间的融合和兼容(互操作性)问题将是当前物联网发展需要考虑的问题之一。物联网的发展需要一个全新的物体标识体系^[1,4],能够支持现存的全球范围内各种典型的标识方案和将来可能会有标识系统,而且可以与现存的互联网和万维网的标识架构相兼容。

另者,现存的各种识别系统的原理有所不同,有基于身份 ID 标识的物体识别,如条码和 RFID 自动识别技术等;也有基于属性的物体识别,如雷达,红外,WSN 等。由此带来的编码问题将是当前物联网发展需要考虑的问题之二。CASAGRAS 的一份报告^[1]全面评估了与物联网技术密切相关几种编码方案,并指出了他们的优缺点。物联网的发展是需要一个全新的、多维的、自适应的全球物品统一编码体系,并要考虑到物体标识与后台解析、信息服务以及 IPv6 等影射问题。

涉及互联、感知与信息交互的理论和模型,物体(设备)唯一身份的标识管理,人和位置的标识,同一实体的不同标识之间可能的交叉引用操作和相互认证,以及面对物联网海量信息的时空一致性描述,智能计算和存储管理都将是物联网标识技术发展需要考虑的问题^[4]。

4.2 物联网体系架构

早期的物联网,其典型架构主要有欧美的 EPC 体系^[9]和日本的 UID 体系^[24]。该两体系在各自政府支持和企业推动下已推广应用,但由于各自在编码方案和后台信息处理方面差别迥异,两者并不兼容;而且架构中都存在后台数据和用户隐私的安全问题。如 EPC 的根 ONS 系统和配套的发现服务系统暂时由 EPC global 委托的 Verisign 公司进行运维,它完全面临被单个公司或者国家运营掌控的安全威胁。此外两者都有一个共同的局限就是只能基于 ID 标识进行物体识别。

随着技术进步和物联网概念的拓展,EPC、UID 将只能成为物联网架构发展中的子集,可伸缩性、可扩展性、模块化和互操作性等将是未来物联网架构设计的重点考虑问题。物联网的发展,需要一个开放的、分布式的、动态的全球体系架构。该架构^[4]能够将现存的或者将来会出现的各种异构系统和分布式资源的互操作性最大化,这些资源将包括人、智能物体,甚至软件等。

目前,国际上对该领域的研究主要分为两方面,一是从网络基础理论研究的角度出发来试图解决新型物联网网络的基本问题,主要包括对现有网络层次化功能模型的改进和探索非层次化的网络体系结构;二是从工程技术研究角度出发,解决网络与业务实现的具体问题。欧盟主要聚焦于“Integration of RFID & WSN”(射

频识别技术与无线传感器的融合),重点支持语义操作和 SOA 架构方面的研究^[25,26].国内主要有研究物联网及其演进的软件建模理论、体系架构和设计方法.

近日美国自然科学基金委员会召开未来互联网体系结构(Future Internet Architecture)高层研讨会^[27],会中提出:未来网络应该适应于发展中国家基础设施比较欠缺的环境;应该面向人类的自我辨识,以人中心,而不是以设备为中心;应该更多联系到现实世界,因而不但能够信息传递,而且要控制、动作和感知.

中欧专家经过多次交流有一些共识:目前全球尚无统一的物联网体系架构,尚需经过一个摸索和交流阶段.因此如何由当前智能网体系演进到未来物联网体系架构,需要加强如下几个方面的研究^[4]:

- 端对端服务、异构系统融合、中性访问、分层明确和对物理网络中断具有弹性恢复的开放性、分布式架构
- 基于对等节点的自主分散式架构模型
- 云计算和事件驱动架构、断开连接操作和同步性机理

4.3 物联网通信和网络技术

物联网实现的是物理世界、虚拟世界、数字世界与社会间的交互.典型的物联网通信模式^[28]主要分为:“物与物”(Thing-to-thing),和“物与人”(Thing-to-person)通信.“物与物”通信,主要实现“物”与“物”在没有人工介入情况下的信息交互,譬如物体能够监控其它物体,当发生应急情况,物体能够主动采取相应措施.“M2M”技术就是其中的一种形式,但是目前 M2M 技术实现大多是基于大型 IT 系统的终端设备.“物与人”通信,主要实现“物”与“人”之间的信息交互,譬如人对物体的远程控制,或者物体向人主动报告自身状态信息和感知的信息.随着物联网发展,实现互联的范围将会指数倍增长,那么通信中可扩展性、互操作性,以及保证网络运营商投资回报的问题将是挑战^[4].

物联网对网络技术的需求主要表现在三方面:要求网络传输技术的进步(无线、有线),要求网络分配技术的升级,以及 web 3.0 的应用.另外,在网络架构和管理方面,能够具有集成有线和无线网络技术,实现透明的无缝衔接,并实现自我配置和有层次的组网结构.

无线通信和网络技术将是促进物联网发展的主要动力,尤其 3G、3.5G MMDS、WLAN、WiMax、UWB、WSN 等.除此之外,还有涉及分布式存储单元,定位和追踪系统,以及数据挖掘和服务等^[4]相关通信和网络技术都将是物联网发展需要考虑的主题.

当前,在全球物联网体系架构并没有确定的情况下明确未来物联网通信和网络架构实非易事,但值得肯定的一点是:物联网的发展需要一个全新的通信

和网络架构,能够融合现有的多种通信、网络技术及其演进;能够适合各类感知方式、解析架构以及未来可用的网络计算处理.因此,针对物联网发展中的通信与网络技术,需要从以下几个方面加强研究^[4,29]:

- 物联网扩频通信和频谱分配问题
- 基于软件无线电(SDRs)和认知无线电(CRs)的物联网通信体系架构
- 物联网中的异构网络融合和自治机理
- 基于多通信协议的高能效传感器网络
- IP 网络技术(IP 和后 IP,IP 多协议优化和兼容)

4.4 物联网搜索和发现服务

面对物联网中海量的分布式资源,如传感器,信息和存储库等,那么按照这些资源的属性(如提供的传感器,驱动器,服务器的类型)、位置或者所提供的信息(如物体或交易的 ID 号等)来搜索和发现这些资源是很有必要的,也是一项挑战^[4,30].因此,物联网搜索和发现服务对物联网的信息管理至关重要.如果失去它,数据的查找和访问将不能达到准确和有效.

在 EPC 系统中,搜索和发现服务主要包括 ONS 以及配套的服务.但随着物联网技术的发展,其搜索与发现服务不仅可以被人使用,也可以被应用软件或智能物体使用,以帮助收集来自不同系统和位置的信息或查找可用于支持智能运输、处理、网络通信和数据处理的基础设施.因此物联网的发展需要一个全新的解析架构,能够实现物理、数字和虚拟实体间的影射,其功能将远远超越 ONS 或者 DNS.

对于有效的搜索和发现,信息的语义标记^[4]非常重要,尤其要确保大量自动生成的信息在没有人工干预的情况下具有自动性和可靠性,这将是一个挑战.

此外,如何将地面测绘数据与如邮政编码和地名的逻辑位置交叉引用,以及物联网搜索和发现服务涉及的位置几何概念问题,如空间重叠和分离将是一个技术热点^[4].

当前,物联网搜索和发现服务需要解决的问题有:

- 面向物联网海量资源信息查找模型与分析机理
- 真实、数字和虚拟实体间影射问题
- 语义标记和搜索
- 搜索发现与标识的多维性研究,如物品 ID,物品属性,时间,地点等多融合与一致性
- 全球通用认证机制

4.5 物联网数据处理技术

物理世界的数字化,将使网络上的数据量逐渐攀升.物联网的发展必会带来海量信息的数据存储和智能处理问题,因此,迫切需要更佳的数据处理方法和机制来查询、获取和处理数据^[2].目前出现的“云计算”

“超算”等技术都将是物联网数据处理的强大后盾,将大大促进物联网的发展。

目前,国外研究主要聚焦于物理计算和认知设备(如无线传感器网络,移动电话,嵌入式系统,微型机器人等)以及互联网融合中涉及的数据处理技术,主要包括:语义互操作性,服务寻找,服务组合,语义传感器网络,数据共享、传播和协作,自治代理,人机交互等问题^[4,30]。

国内在面向海量信息的智能处理和面向复杂应用环境的数据存储等方面有较强的研究力度,主要有:

- 物联网中的海量信息智能处理和数据存储理论
- 面向海量信息的高效计算模型与分析学习机理,动态时空信息描述与一致性控制机制
- 整合和分析海量信息并提供智能服务的方法
- 针对异构和并发服务的大规模数据存储面临的高效性、安全性、可靠性、低能耗等挑战,研究面向服务且支持云计算等存储服务的架构
- 自组织的动态数据对象管理和资源共享方法,存储服务 QoS 和效用评价方法
- 网络使能技术及其与物联网的协同应用

4.6 物联网安全和隐私技术

物联网作为前沿综合交叉技术,其安全和隐私问题^[31~33]受到广泛关注.主要涉及两方面的问题:一是国家和企业机密,二是个人隐私.对国家和企业而言,数据资源包含了一定的敏感信息,若处理不当,很容易在数据交互共享的过程中遭受攻击而导致机密泄漏,构成严重的安全威胁;同样对个人而言,数据信息往往涉及到个人行为、兴趣等隐私问题,将会对个人形成威胁;也会出现愿意分享个人信息的情况^[2],譬如应急事故救援时,受伤者希望自己的病情和以前的病史可以及时提供给医生从而得到及时和最优的治疗.因此,物联网的发展需要全面考虑这些安全因素,设计并建立相对完善的安全机制,而不是等待新的安全技术出现后再去解决安全威胁.尤其在考虑物联网的各种安全要素时,隐私保护强度和特定业务需求之间是有折衷的,最终的设计原则是:在满足业务需求(实用性、易用性)基础上尽可能地保护用户隐私、定制适度的隐私保护策略(实现匿名性和用户行为的不可追踪)。

物联网的安全机制^[34]可以从以下几个方面加强:

- 认证和访问控制

对用户访问网络资源的权限进行严格的多等级认证和访问控制.例如,进行用户身份认证,对口令加密、更新和鉴别,设置用户访问目录和文件的权限,控制网络设备配置的权限等.还有,可以在通信前进行节点与节点的身份认证;设计新的密钥协商方案,使得即使有一小部分节点被操纵后,攻击者也不能或很难从获取

的节点信息推导出其它节点的密钥信息等.另外,还可以通过对节点设计的合法性进行认证等措施来提高感知终端自身的安全性能。

- 数据加密

加密是保护数据安全的重要手段.加密的作用是保障信息被攻击者截获后不能被破译.同时,对传输信息加密可以解决窃听问题,但需要一个灵活、强健的密钥交换和管理方案,密钥管理方案必须容易部署而且适合感知节点资源有限的特点.另外,密钥管理方案还必须保证当部分节点被操纵后不会破坏整个网络的安全性.目前,加密技术很多,但是如何让加密算法适应快速节能的计算需求,并提供更高效和可靠的保护,尤其在资源受限的情况,人和物体相对运动彼此分离的情况下,进行安全加密和认证是物联网发展对加密技术提出的更高挑战和要求。

- 立法保护

未来需要从立法角度,针对物联网隐私,如规章的地域性影响、数据所有权等问题,明晰统一的法律诠释并建立完善的保护机制.通过政策法规加大对物联网信息涉及到的国家安全、企业机密和个人隐私的保护力度,进一步加强对监管机构的人、财、物的投入,完善监管体系,形成监管合力,都是解决物联网安全和隐私问题的重要手段^[2,4]。

4.7 物联网标准

标准化是促进物联网成功的一个关键性因素.目前,物联网标准的发展涉及到多方面的不确定性,包括架构、编码、网络通信等基础技术标准,以及应用标准和涉及法律、政治、经济、人文等规范.以 RFID 技术标准为例,EPC global 和 UID 标准各自都在发展,都希望融入到国际标准框架下,但两者并不能直接兼容,这也正是限制其发展的重要因素.因此,当前物联网的发展急需加强各国的协商和沟通,以便制定一个全球能接受的、统一和节能的标准。

欧盟在一份研究报告^[35]中提出物联网的标准制定需要重点考虑以下三个方面的问题:对现存的互联网、条码和 RFID 标准的依赖性问题;针对特定标准之间的矛盾和公平的调和问题,以及标准之间的兼容互用性问题.目前国际上的研究主要聚焦于:操作性方面的语义数据模型的标准化,无线频谱分配,发射功率和通信协议方面的技术标准,以及在同一频谱下与其它服务的合作标准,包括移动通信服务,广电服务,应急服务等等.其中涉及的物联网本身的标准化,以及基于语义标准和通信标准等理论问题尚待研究。

在我国,RFID 和传感网技术的标准化工作已经开始.国内目前采取的政策是:首先聚焦传感网,在加快制定传感器网络关键技术标准的基础上,再根据不同

行业应用需求,按照顶层规划设计,逐步完善物联网标准体系.具体在传感网标准制定方面,工业和信息化部已成立国家传感网标准工作组,统筹规划传感网的标准研究,并表示我国传感网标准体系已形成初步框架,向国际标准化组织提交的“传感网标准化体系框架”、“传感网系统架构”、“传感网网络协同架构”等核心方案^[36]已被采纳.但目前总体来说,这些标准还是基于“狭义”传感网技术进行制定的,由于未来物联网的体系架构和核心技术尚未确定,我们目前制定的传感网标准与未来真正的物联网标准还是有距离的.

本文认为,物联网发展是一项庞大的系统工程,其标准体系的构建将非常复杂,从标准规划、立项到出台都需要一个过程,在长期储备和掌握核心技术的基础上,需要各方面的协调和配合,因此我国在制定物联网标准的前期,可以针对标准制定的课题进行研究和论证,以“大规划”与“小阶段实施”的思路来规划,逐步、阶段性完成标准制定工作.首先从国家战略的高度来统一规划,充分考虑国际合作和我国国情来论证我国物联网体系框架性标准;然后再具体结合我国物联网发展、核心技术掌握和应用情况,有条件地逐步制定较为成熟的技术和应用标准;最后逐步和系统性地进一步完善和融合.

4.8 物联网管理

目前,缺乏统一管理^[2]已成为物联网发展的另一主要障碍之一.没有一个公正权威的管理协调机构,国际物联网的标准化工作协调起来比较困难.同时,标识、编码和网络通信等关键技术如果将独自发展并应用于各领域,很难为全球物联网提供支撑.

WSIS(World Summit on the Information Society)提出,未来互联网的管理模式^[37]将是“多元、透明、民主”,由多国共同运营,使政府、私营部门、民间团体和国际组织都能参与进来的模式.物联网的管理模式到底是什么样,它和当前的互联网管理模式有什么不同,其管理机构到底是一个国家主导的,还是由联合国监督下的一个共管机构,都仍然是国际上备受争论的话题.

国内有提出“层次化的物联网管理模型”^[19],即顶层为国家物联网管理机构,主要负责国际对话与国际物联网互联,以及制定和发布国内总体管理标准,并对第二层物联网管理中心(即各行业和专用的物联网主管机构)进行统一管理.那么最底层则为本地的物联网管理机构,主要负责管理基层的物联网应用系统.

物联网管理将与物联网相关的技术、教育、法律、经济和政治等方面密切相关.因此当前我国可加强对物联网管理体系的理论的研究,可以重点考虑如下几个方面^[35]:

- 物联网管理体系的探索

- 物联网的技术管理(如频谱资源的管理利用,技术标准管理,编码管理和安全管理等)

- 物联网的社会经济管理(如考虑社会的伦理、道德规范、教育以及世界多元文化等)

5 我国物联网建设的若干思考

物联网建设在我国日益受到了重视,制定我国自主知识产权的标准体系、掌握核心技术和建立应用系统是现实的需求.2010年1月中国互联网统计报告^[38]显示,截至2009年12月30日,中国网民数量已达3.84亿,我国互联网的普及率为28.9%,IPv4地址数量达到2.32亿,面对我国互联网拥有的巨大市场规模和发展空间,我国正在把握机遇,为在国际物联网发展中掌握一定的话语权做准备.

5.1 我国物联网建设面临的主要挑战

- 管理及技术标准的统一问题

目前全球物联网的发展缺乏一个合适的管理机构,缺乏物联网标准和与其它网络互联互通的标准.我国物联网应用首先将主要依托于国内市场,其应用的多样性、分散性和缺乏监管将为国家标准和行业标准的制定带来难度.

- 技术瓶颈

目前全球物联网的研究大多还停留在概念和试验阶段.一方面,我国缺少自主知识产权的核心技术,如无线通信技术,嵌入式技术、网络技术(移动和自组网络)、中间件技术,以及这些技术的无缝集成;还有智能终端的节能、延长网络寿命、无线传输的频率干扰、网络时钟同步等都是目前很有挑战性和必须解决的问题.另一方面,我国在应用领域管理分散,呈现出“概念方案多,实用系统少;试验系统多,规模应用少”的特点^[39],难以形成有代表性的系统解决方案.

- 公众的普及问题

虽然目前物联网在概念上成为讨论的热点,但是公众缺乏对物联网本质上的认识.由于对物联网的认识有一定的技术门槛,在很多因素的推动下,公众容易盲从,需要加强多层次的物联网知识普及,以便公众更理性更清晰地认识物联网这个新生事物.

- 国际间合作(协调)

未来物联网是开放和共享的,各国之间的联系将更为密切,各国物联网很难独立于世界物联网之外.我国物联网的建设也是如此,只有与其它国家物联网进行合作互联,才能更好地发挥物联网的作用.但由于“物联网”涉及到下一代信息网络和资源的掌控和利用,各国都希望能占领该领域的制高点,掌握一定的话语权,因此物联网既为国际间合作创造了良好机遇,也带来了巨大挑战和竞争.

5.2 我国物联网建设的运营与规划

对于我国物联网建设的运营与规划,本文将分别从国家、企业和学术的层面提出若干建议。

• 国家层面

我国物联网刚刚起步,需要一个整体统一的战略部署和规划,以便进行顶层设计和明确物联网产业的定位、发展目标、时间表和路线图等。如欧盟近期出台的《欧盟物联网行动计划》^[11],提出了九个方面的十四点行动内容(见表 1),其中物联网管理体制的制定、安全保障和标准化制定是该行动计划的重点。

表 1 欧盟物联网行动计划总体框架

	方面	行动计划
欧盟物联网行动计划	物联网管理	管理架构设计和管理机制确定
	安全性保障	隐私不间断监控和个人数据保护立法
		“芯片沉默”的权利
		明确未来的“潜在风险”
		将“物联网”发展为社会的关键资源
	标准化	加强标准化制定
	研究开发	研究资助
		研究公私研发合作项目整合
	开放和创新	创新和启动试点项目
	达成共识	提高意识,各相关机构定期沟通交流
	国际对话	加强国际间对话共享信息
	污染管理	RFID 标签的循环利用
	未来发展	统计数据
		评估、监督

结合国情,我国在支持物联网基础前沿、关键技术研究和国际交流的同时,对国家物联网的发展可以进行部署和规划。

一方面,国家可以规划若干个国家级重点示范应用项目,在发改委产业化或科技部支撑计划中给与支持,进行重点行业应用的研究与示范,以点带面促进物联网产业的人才培养、基础研究以及关键技术突破,为物联网发展的全面展开积累技术和经验。同时应加强引导,避免出现大量企业或单位重复建设传统智能网而非真正意义上的物联网,这些重复建设有些是无效探索。另一方面,围绕每个重点示范应用,注重“产学研”结合。有针对性地培育“产学研”创新合作群体,发挥各自特长,建立人才培养、技术创新和基地建设的长效机制。

国家层面的物联网规划问题,面临着严峻考验。客观地说,构建真正意义上的国家物联网将是一个长期的、持续的发展过程。政府有效的统一规划、科学引导以及大力扶持将会加速这一过程。对于物联网的示范应用,应尊重我国国情,并兼顾行业和地域特色。

• 企业层面

物联网产业链很长,包括芯片商、设备商、系统集成商、移动运营商等,在各方利益机制及商业模式尚未成型的背景下,产业繁荣还有待时日。现阶段,无论是安

全、政策和技术标准都还没有到位。物联网成功的关键在于应用,如果没有实际的应用支撑,物联网很可能会被其他的概念取代而成为泡影。因此企业界^[40]对物联网的认识应该回归理性,冷静应对,通过对技术、应用、市场、商业模式以及政策等多维度的把握,从基础和实际出发,以应用为导向来促进物联网产业健康的发展。

对于国内大多企业,应根据自己的需求和能力量力而行,在降低成本和解决问题的同时,开展物联网应用应重在明晰新的业务模式、运营思路和产品定位,而不是热衷概念;对于实力雄厚的大企业来说,可以积极参与国家物联网的建设规划,加强国际合作,引导行业发展,加强研发的投入,做好长期合理的运营规划。

本文认为,国家支持的物联网基础研究才刚刚启动,企业在发展物联网业务时应注意以下两个方面:一是不要盲从,目前国内物联网项目风险相对来说还比较大,应避免盲目投资、过度投资以及重复性建设;二是不要急于求成,在国际、国内物联网政策还不明朗、技术和应用还不成熟的情况下,需要对自己要做的物联网产品进行细分和准确定位,分清哪些是自己运营的,哪些是面向社会提供的产品,需要在探索中不断提升自身实力和积累经验。

• 学术层面

物联网涉及的技术很多,基础前沿研究值得关注。2009 年欧盟物联网项目研究组制定了未来物联网发展的技术路线图^[4],为欧盟物联网研究明确了一定的方向。我国科研人员也可以结合国情和自身情况,加强国际交流与合作。例如表 2 可供参考。

表 2 物联网研究方向路线图

	当前研究	今后方向
物体标识技术	• 适用于不同应用领域的 ID 标识方案分析 • 统一全球物品标识及编码方案以及特例情况	• 扩展 ID 标识概念(不止是 ID 号),研发电磁识别(EMID)以及后 EMID 技术 • 唯一 ID 标识(如物品 DNA)
体系架构	• 局域物联网(局部试点应用,千/百万事物互联)	• 广域物联网(试验用户应用,数十亿事物互联) • 物联网(全球范围应用,实现亿万物事互联)
通信网络技术	• 无线通信网络技术,如 Zig-Bee, RFID, Bluetooth • 网格、云网络以及混合网络 • 互操作性(协议和频谱)	• 网络化的 RFID 系统与其他单个或混合网络的互联 • 不间断服务通信网络系统 • 网络节点进化、消亡、再生
数据处理技术	• 网格计算、云计算,海量信息智能处理 • 分布式、节能高效数据存储	• 自主计算 • 认知计算
安全和隐私	• 节能高效的安全算法 • 低成本,安全和高效的安全认证设备	• 基于情景的安全激活算法 • 认知安全系统
标准化	• RFID、M2M、WSN、H2H 标准 • 隐私和安全标准 • IoT 智能设备标准的采用	• IoT 物体交互标准的采用 • IoT 个性化设备标准的采用 • 动态,不断进化的标准制定

在做好基础技术研发的同时,我们也可以开展软课题研究,如针对国家物联网建设的政策、标准、管理、公众行为的研究。

6 小结

物联网研究对于我国物联网建设和下一代信息技术发展具有重要的经济和社会价值. 本文主要从学术研究的视角, 对物联网的概念、以及物联网技术中一些重要共性问题进行了思考. 在综述全球物联网发展动态的同时, 对物联网的不同概念的理解进行了统一, 并指出当前物联网发展的若干关键技术和尚需研究的问题, 最后分别从国家、企业和学术层面提出我国物联网建设的若干建议, 为我国物联网建设和发展提供参考.

参考文献:

- [1] CASAGRS. RFID and the Inclusive Model for the Internet of Things [OL]. <http://www.rfidglobal.eu/userfiles/documents/Final Reports.pdf>, 2010-02-01.
- [2] INFSO D.4 Networked Enterprise & RFID INFSO G.2 Micro & Nanosystems in co-operation with the RFID Working Group of the ETP EPoSS. Internet of Things in 2020: A Roadmap for the future [OL]. <http://www.smart-systems-integration.org/public/internet-of-things>, 2008-09-05.
- [3] Maarten Botterman. Internet of Things: an early reality of the Future Internet[R]. Prague: Czech Republic, 2009.
- [4] CERP-IoT. Internet of Things Strategic Research Roadmap [OL]. <http://ec.europa.eu/information-society/policy/rfid/documents/in-cerp.pdf>, 2009-09-15.
- [5] Sanjay Sarma, David L Brock, Kevin Ashton. MIT Auto ID WH-001: The Networked Physical World[R]. Massachusetts: MIT Press, 2000.
- [6] Harald Sundmaeker, Patrick Guillemin, et al. Vision and Challenges for Realising the Internet of Things [M]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
- [7] International Telecommunication Union (ITU). ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R]. Tunis: World Summit on the Information Society (WSIS), 2005.
- [8] IBM. A Smarter planet [OL]. <http://www.ibm.com/smarterplanet>, 2010-02-01.
- [9] EPC global. The EPCglobal Architecture Framework [OL]. http://www.epcglobalinc.org/standards/architecture/architecture_1_3-framework-20090319.pdf, 2009-03-19.
- [10] 宁焕生, 张瑜, 刘芳丽, 等. 中国物联网信息服务系统研究 [J]. 电子学报, 2006, 34(12A): 2514-2517.
Ning Huansheng, Zhang Yu, Liu Fangli, et al. Research on China Internet of Things' Services and Management [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(12A): 2514-2517. (in Chinese)
- [11] Commission of the European Communities. Internet of Things- An action plan for Europe COM(2009) 278 final[R]. Brussels, EC Publication, 2009.
- [12] 石军. “感知中国”促进中国物联网加速发展[J]. 通信管理与技术, 2009, 10(5): 1-3.
Shi Jun. “Sense China” Speed up the China Internet of Things' Development [J]. Communications Management and Technology, 2009, 10(5): 1-3. (in Chinese)
- [13] Ian F Akyildiz, et al. A survey on sensor network [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [14] 徐东英, 中国电子标准化所. 物联网标准制定最新进展 [OL]. http://www.rfidworld.com.cn/news/2009_12/2009128954484792.html, 2009-12-8.
Xu Dongying, China Electronics Standardization Institute (CESI). The Latest Developments on IoT Standardization [OL]. http://www.rfidworld.com.cn/news/2009_12/2009128954484792.html, 2009-12-8. (in Chinese)
- [15] Nokia. Machine-to-Machine: Let your machines talk [OL]. <http://www.zdnet.co.uk/white-papers/mobile-and-wireless/2009/06/24/machine-to-machine-let-your-machines-talk-260097767/>, 2009-06-24.
- [16] Dikaiakos M D, Katsaros D, Mehra P, et al. Cloud computing: Distributed internet computing for IT and scientific research [J]. IEEE Internet Computing Magazine, 2009, 13(05): 10-13.
- [17] ITU. Ubiquitous Network Societies: The Case of Japan[R]. Switzerland: Office of Secretary General of the ITU, 2005.
- [18] Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC). MIC announces the outline of digital Japan creation project (ICT Hatoyama Plan) [J]. MIC Communications News, 2009, 20(1): 1-11.
- [19] Ning Huansheng, Ning Na, et al. Layered structure and management in internet of things [A]. Proc Future generation communication and network (FGCN)[C]. Jeju: IEEE Press, 2007. 386-389.
- [20] Gao Jia, Liu Fangli, Ning Huansheng, et al. RFID coding, Name and information service for internet of things [A]. Proc Wireless, Mobile and Sensor Network (CCWMSN07)[C]. Shanghai: IEEE Press, 2007. 36-39.
- [21] Yan Lu, Zhang Yan, Laurence T Yang, Ning Huansheng. The Internet of Things: From RFID to the Next-Generation Pervasive Network Systems [M]. New York: Auerbach Publications, 2008.
- [22] 宁焕生, 张彦. RFID 与物联网 - 射频、中间件、解析与服务 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
Ning Huangsheng, Zhang Yan. RFID and Internet of Things- Radiofrequency, Middleware, Object Naming and Information Service [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008. (in Chinese)
- [23] 宁焕生, 王炳辉. RFID 重大工程与国家物联网 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
Ning Huangsheng, Wang Binghui. RFID National Projects and Internet of Things [M]. Beijing: China Machine Press, 2009.

(in Chinese)

- [24] Ubiquitous ID Center. Ubiquitous ID Architecture [OL]. <http://www.uidcenter.org/english/architecture.html>, 2009-05-20.
- [25] CASAGRS. White Papers WP4: RFID and the Internet of Things-Enablers of Ubiquitous Computing and Network, [OL]. <http://www.rfidglobal.eu/>, 2009.
- [26] Guinard D, Trifa V, et al. Interacting with the SOA-based Internet of Things: Discovery, Query, Selection, and On-Demand Provisioning of Web Services [J]. IEEE Transactions on Service Oriented Computing, 2010, 3 (3): 223-235.
- [27] 闵应骅. 未来互联网体系机构 [OL]. http://www.sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=283841, 2010-01-03. Min Yinghua. Future Internet Architecture [OL]. http://www.sciencenet.cn/m/user_content.aspx?id=283841, 2010-01-03. (In Chinese)
- [28] SRI Consulting Business Intelligence. Disruptive Technologies: Global Trends 2025, Appendix F: The Internet of Things (Background) [OL]. www.scribd.com, 2010-05-30.
- [29] 封松林, 叶甜春. 物联网/传感网发展之路初探 [J]. 中国科学院院刊, 2010, 25(01): 50-54. Feng Songlin, Ye Tianchun. Preliminary exploration of the way of the development of the internet of things / sensor networks [J]. CAS Bulletin, 2010, 25 (01): 50-54. (in Chinese)
- [30] Anne James, et al. Research directions in database architectures for the internet of things: a communication of the first international workshop on database architectures for the internet of things (DAIT 2009) [A]. BNCOD 2009, LNCS 5588 [C]. Berlin: 2009. 225-233.
- [31] Christon P M. Security and privacy challenges in the internet of things [A]. Proc WowKiVS 2009 [C]. Germany: Electronic Communications of the EASST, 2009. 1-12.
- [32] Rolf H Weber. Internet of things-new security and privacy challenges [J]. Computer Law & Security Review, 2010, 26 (1): 23-30.
- [33] Pierre de Leusses, Panos Periorellis, et al. Self managed security cell, a security model for the internet of things and services [A]. Proc 2009 First International Conference on Advances in Future Internet [C]. Athens: IEEE Press, 2009. 47-52.
- [34] Karygiannis T, Eydt B, Barder G, et al. Guidelines for Securing Radio Frequency Identification (RFID) Systems [R]. Gaithersburg: NIST Publication, 2007.
- [35] Pierre Jean Benghozi, Sylvain Bureau, et al. The Internet of Things: What Challenges for Europe [OL]. <http://www.vox-internt.org/>, 2008-10.
- [36] CESI. Standardization and application of sensor networks in China [R]. Beijing: CESI, 2009.
- [37] ITU. World summit on the information society [J]. ITU New, 2005, (8): 2-3.
- [38] CNNIC. The 25th Statistical Survey Report on the Internet Development in China [OL]. www.cnnic.net.cn/upload/files/pdf/2010/3115/1442706.pdf, 2010-03-15.
- [39] 李鹏, 赵经纬. 物联网需两颗红心一种准备 [J]. 通信世界, 2009, (40).
- [40] Haller Stephan, Karnouskos Stamatis, et al. The internet of things in an enterprise context [A]. FIS 2008, LNCS 5468 [C]. Berlin: 2009. 14-28.

作者简介:



宁焕生 男, 1975 年生于安徽怀宁. 1996 年毕业于安徽大学, 获电子工程专业学士; 2001 年于北京航空航天大学获信息与通信工程专业博士; 2002-2003 年, 任职于航天科工集团航天金卡公司, 负责和参与行业和国家重大信息化工程建设; 2004-2005 年, 北京航空航天大学博士后; 现任北京航空航天大学电子信息工程学院副教授, 副系主任. 主持过 973 子专题、国家自然科学基金、863、航空科学基金、航天支持基金、产学研合作项目等多项. 曾获省部级奖励 4 项. 主要研究领域为: 物联网及其在航空安全中的应用、目标识别与电磁感知. 其中在 RFID 与物联网领域, 共发表论文 20 余篇, 主持或参与编写的著作有: 《The Internet of Things: From RFID to the Next-Generation Pervasive Network Systems》、《RFID 终端产品研发与生产关键技术》、《RFID 与物联网: 射频、解析与服务》、《RFID 重大工程与国家物联网》(第一版) 和《RFID 重机工程与国家物联网》(第二版物联网专业十一五国家规划教材).
E-mail: ninghuansheng@buaa.edu.cn



徐群玉 女, 1985 年生于安徽六安. 2007 年毕业于安徽大学, 获电子信息工程专业学士; 2007-今, 北京航空航天大学硕博连读. 主要从事物联网技术及其在航空安全应用中的有关研究.
E-mail: xuqunyu@ee.buaa.edu.cn