

物联网技术进展与应用

朱洪波^{1,2}, 杨龙祥^{1,2,3}, 朱琦^{1,2,3}

- 1 南京邮电大学 江苏省无线通信重点实验室, 江苏 南京 210003

2 南京邮电大学 教育部宽带无线通信与传感网技术重点实验室, 江苏 南京 210003

3 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003

摘要: 对物联网的研究和应用进展进行综述分析。首先介绍了物联网的起源、国内外物联网的研究和应用现状, 然后详细讨论了物联网的定义、物联网的体系结构、物联网的异构融合网络层、物联网的感知节点与终端、泛在传感网、物联网的业务支撑与智能处理技术、物联网的业务平台技术、物联网安全和物联网标准等关键技术。最后提出了物联网研究的关键技术和主要内容。

关键词: 物联网; 传感网; 泛在网; RFID

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5439(2011)01-0001-09

Survey on the Internet of Things

ZHU Hong-bo², YANG Long-xiang^{2,3}, ZHU Qi^{2,3}

- 1 Jiangsu Key Lab of Wireless Communications, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

2 Key Lab on Wideband Wireless Communications and Sensor Network Technology of Ministry of Education, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

3 College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

Abstract: This paper presents a survey on the Internet of Things (IoT). The origination, development and application of IoT are first discussed, then the definition, architecture, transport network layer, sensing node and the terminal pervasive sensor network, smart processing techniques, service platform techniques, security and standardization of IoT are discussed in detail. Finally, the key technologies and primary research topics are proposed.

Key words: the Internet of things; sensor network; pervasive network; RFID

0 引言

物联网 (Internet of Things, IoT)^[1-4] 被预言为继互联网之后全球信息产业的又一次科技与经济浪潮, 受到各国政府、企业和学术界的重视, 美国、欧盟、日本等甚至将其纳入国家和区域信息化战略。

1991年美国麻省理工学院 (MIT) 的 Kevin Ashton 教授首次提出物联网的概念。1995年比尔·盖茨在《未来之路》一书中也曾提及物联网, 但未引起广泛重视。1999年美国麻省理工学院建立了“自动

识别中心 (Auto-ID)”^[5], 提出“万物皆可通过网络互联”, 阐明了物联网的基本含义。早期的物联网是依托射频识别 (RFID) 技术的物流网络。随着技术和应用的发展, 物联网的内涵已经发生了较大变化。2005年国际电信联盟 (ITU-T) 发布的物联网报告^[1] 中提出: 通过一些关键技术, 用互联网将世界上的物体都连接在一起, 使世界万物都可以上网。这些关键技术包括通信技术、RFID 传感器、机器人技术、嵌入式技术和纳米技术等。在未来 10 年左右时间里, 物联网将得到大规模应用, 革命性地改变世界的

收稿日期: 2011-01-04

基金项目: 国家科技重大专项 (2011ZX03005-004-003, 2009ZX03007-004, 2009ZX03003-002)、国家自然科学基金 (61071090) 资助项目

通讯作者: 朱洪波 电话: (025)85882256 E-mail: zhuhb@njupt.edu.cn

面貌。

2004 年日本总务省 (MIC) 提出 “Japan 计划”^[9], 该战略力求实现人与人、物与物、人与物之间的连接, 希望将日本建设成一个随时、随地、任何物体、任何人均可连接的泛在网络社会。2009 年 7 月, 日本 IT 战略本部发布了日本新一代信息化 “i-Japan 战略”^[3], 提出到 2015 年通过数字技术实现 “新的行政改革”, 使行政流程效率化、标准化和透明化, 同时推动电子病历、远程医疗、远程教育等应用的发展。

韩国于 2006 年确立了 uKorea 计划^[37], 该计划旨在建立无所不在的社会 (ubiquitous society), 在民众的生活环境里建设智能型网络 (如 IPv6, BEN, USN) 和各种新型应用 (如 DMB, Telematics, RFD), 让民众可以随时随地享有科技智慧服务。2009 年韩国通信委员会出台了《物联网基础设施构建基本规划》^[3], 将物联网确定为新增长动力, 提出到 2012 年实现“通过构建世界最先进的物联网基础实施, 打造未来广播通信融合领域超一流信息通信技术强国”的目标。

2009年欧盟执委会发表了欧洲物联网行动计划^[3],描绘了物联网技术的应用前景,提出欧盟政府要加强对物联网的管理,促进物联网的发展。行动方案的主要内容: (1) 加强物联网管理; (2) 完善隐私和个人数据保护; (3) 提高物联网的可信度、接受度和安全性; (4) 评估现有物联网的有关标准并推动新标准的制定; (5) 推进物联网方面的研发; (6) 通过欧盟竞争力和创新框架计划(CP)推动物联网应用; (7) 加强对物联网发展的监测、统计和管理等。

2009年1月, IBM与美国信息技术与创新基金会(IIF)智库组织共同向奥巴马政府提交了“复兴的数字之路:增加工作、提高生产率和复兴美国的刺激计划”建议报告^[3], 提出通过信息通信技术(ICT)投资可在短期内创造就业机会, 美国政府如果新增300亿美元的 ICT投资(包括智能电网、智能医疗、宽带网络三个领域), 就可以创造出94.9万个就业机会。2009年1月, 在奥巴马就任总统后的首次美国工商业领袖圆桌会议上, IBM首席执行官建议政府投资建设新一代的智能基础设施, 提议得到了奥巴马总统的积极回应, 美国政府把宽带网络等新兴技术定位为振兴经济、确立美国全球竞争优势的关键战略, 随后出台的总额为7870亿美元的《复苏和再投资法》中对上述提议进行具体落实。^[4]《复苏和

再投资法》中鼓励物联网发展的政策主要体现在推动能源、宽带通信与医疗三大领域实施物联网应用。

我国在物联网领域与技术先进国家相比不算落后^[3]。2009年2月IBM大中华区首席执行官钱大群在2009 IBM论坛上发布了“智慧地球”发展策略;中国移动总裁王建宙多次表示物联网将会是中国移动未来的发展重点。2009年8月温总理“感知中国”的讲话把我国物联网领域的研究和应用开发推向了高潮,无锡市率先建立了“感知中国”研究中心,中国科学院、运营商、多所大学在无锡建立了物联网研究院。

物联网是继 PC、互联网、无线通信技术之后第四次信息技术革命,有重大的科学意义和应用价值。依靠物联网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。物联网的出现将从生活、生产、社会、经济、政治、军事、科技等方面影响人类生活和世界。根据美国权威咨询机构 FORRESTER 预测^[3],到 2020 年世界上物对物互联的业务与人对人通信的业务将达到 30 比 1,因此物联网常被称为下一个万亿级的通信业务。

1 物联网概述^[8]

ITU对物联网的定义为^[1]: 物联网实现物到物 (Thing to Thing T2T)、人到物 (Human to Thing H2T)和人到人 (Human to Human)的互连。这里人与物的互连指人使用传感器等设备后与物体的互连, 而人与人的互连指人使用传感系统而不是现在的电脑实现人与人之间的互连。物联网的核心是实现物体 (包含人) 之间的互连, 从而能够实现物体与物体之间的信息交换和通信。物体信息通过网络传输到信息处理中心后可实现各种信息服务和应用。

物联网的主要作用是缩小物理世界和信息系统之间的距离^[9]，它可以通过射频识别（RFID）、传感器、全球定位系统、移动电话等设备，按约定的协议，将世界上的所有物体全部连接到信息网络中，使得它们在事件处理中成为积极的参与者，体现了物理空间和信息空间的融合。服务可以和这些智能物体通过网络进行交互，获得与这些物体相关的任何信息。

传感网^[10]可以看作是物联网的末端延伸网之一。无线传感器网络由大量随意分布的、能耗及资源受限的传感节点组成,它具有感知能力、计算能力

和通信能力,通过自组织方式构成无线网络,协作地实时采集和处理物理世界的大量信息,实现物联网全面感知的功能。

泛在网^[1]是一种无所不在的网络,它可以使任何人在任何时间、任何地点通过网络获得任何信息,它是一个大通信的概念,是面向经济、社会、企业和家庭全面信息化的概括。泛在网不是一个全新的网络,它是充分挖掘已有网络的潜能,结合不断出现的

新技术,将网络触角不断延伸,实现人与人、人与物、物与物之间按需进行的信息获取、传递、存储、认知、决策等服务。泛在网具有比物联网更广泛的内涵,而物联网是迈向泛在网的第一步。从覆盖的技术范围来看,泛在网包含了物联网,而物联网又包含了传感网。

物联网全景如图 1 所示。

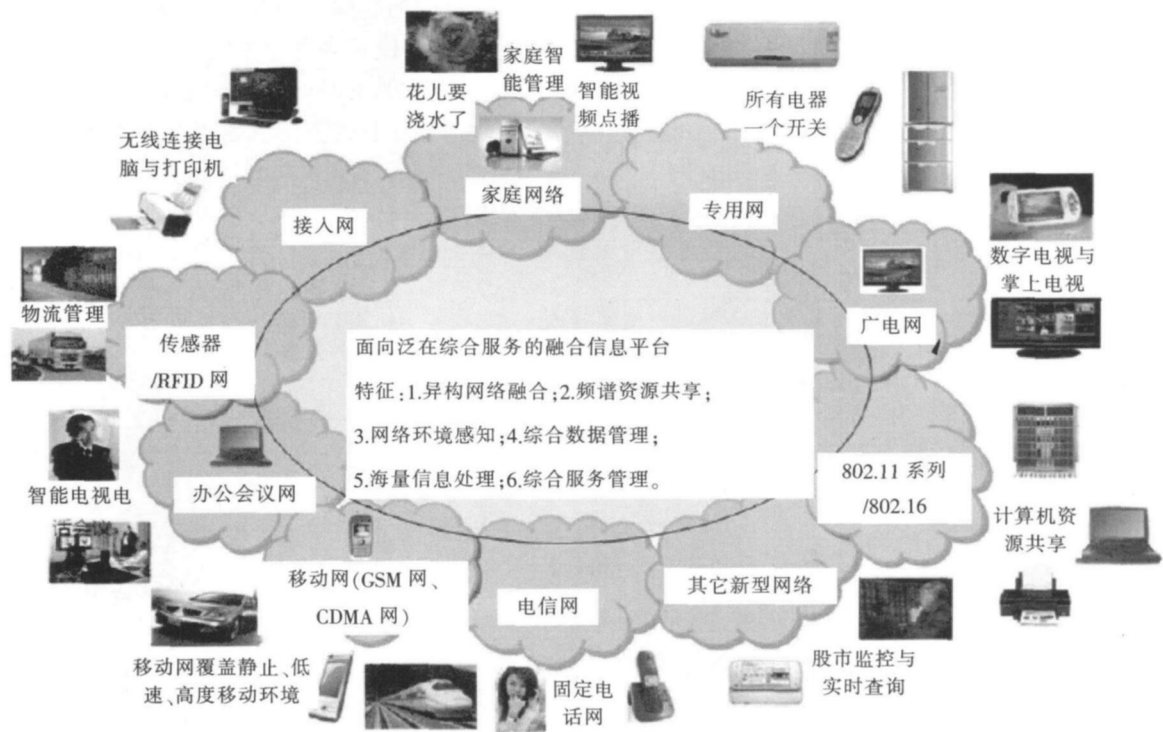


图 1 物联网全景图

物联网发展中最重要理念是融合^[3]。物联网通过设备融合、网络融合、平台融合实现服务融合、业务融合和市场融合。设备融合指研发出一体化的感知终端。网络融合指用户可使用任意终端(移动台、PDA、PC等)通过任一方式接入网络(WLAN、GPRS、3G网络等)而且号码唯一、帐单唯一。平台融合指用户数据集中管理、公用的业务平台、分类的管理平台和应用平台,支撑用户跨业务系统的互操作,形成统一认证系统,实现基于统一账号、统一密码的集中认证。服务融合指在服务层面实现融合,例如在固话和移动网络之间共享收信人的地址、电话号码、用户名称等。业务融合指物联网同时提供语音、数据、视频等多种业务。市场融合就是以市场机制为引导,把各类通信和信息产品和服务捆绑起来打包销售。

2 物联网关键技术

2.1 物联网的体系结构

物联网包含感知延伸层、网络层、业务和应用层三层^[3]。第一层负责采集物和物相关的信息;第二层是异构融合的泛在通信网络,包括现有的互联网、通信网、广电网以及各种接入网和专用网,通信网络对采集到的物体信息进行传输和处理;第三层是应用和业务,为手机、PC等各种终端设备提供感知信息的应用服务^[8]。

(1) 感知延伸层^[3]

物联网中由于要实现物与物和人与物的通信,感知延伸层是必须的。感知延伸层主要实现物体的信息采集、捕获和识别。感知延伸层的关键技术包括传感器、RFID、GPS自组织网络、传感器网络、短距离无线通信等。感知延伸层必须解决低功耗、低

成本和小型化的问题,并且向灵敏度更高、更全面的感知能力方向发展。

(2) 网络层^[3]

网络层是物联网的神经系统,主要进行信息的传递,包括接入网和核心网。网络层要根据感知延伸层的业务特征,优化网络特性,更好地实现物与物之间的通信、物与人之间的通信以及人与人之间的通信,这就要求必须建立一个端到端的全局物联网。物联网中有很多设备的接入,是一个泛在化的接入、异构的接入。接入方式多种多样,接入网有移动网络、无线接入网络、固定网络和有线电视网络。移动通信网具有覆盖广、建设成本低、部署方便、具备移动性等特点,使得移动网络将成为物联网主要的接入方式,通信网络就要是通过多种方式提供广泛的互联互通。除此以外,物体是可以移动的,而它们的要求是随时随地都可以“上网”。因此在局部形成一个自主的网络,还要连接大的网络,这是一个层次性的组网结构。这要借助有线和无线的技术,实现无缝透明的接入。

随着物联网业务种类的不断丰富、应用范围的扩大、应用要求的提高,对于通信网络也会从简单到复杂、从单一到融合,从多种的接入方式到核心网的融合整体的过渡。

(3) 业务和应用层^[3]

业务和应用层是物联网的信息处理和应用,面向各类应用,实现信息的存储、数据的挖掘、应用的决策等,涉及海量信息的智能处理、分布式计算、中间件、信息发现等多种技术。

由于网络层是由多种异构网络组成的,而物联网的应用是多种多样的,因此在网络层和应用层之间需要有中间件进行承上启下。中间件是一种独立的系统软件或者服务程序,能够隐藏底层网络环境的复杂性,处理网络之间的异构性,分布式应用软件借助于中间件在不同的技术之间共享资源,它是分布式计算和系统集成的关键组件^[12]。文章介绍了中间件的基本概念,阐述了一种基于系统层次的分类方法,并详细讨论了现存各类中间件技术的特点、相关标准及发展应用情况。它具有简化新业务开发的作用,并且可以将已有的各种技术结合成一个新的整体,因此是物联网中不可缺少的一部分。在过去的几年中,中间件都是采用面向服务的架构(Service Oriented Architecture, SOA)^[13],通过构建在SOA基础上的服务可以以一种统一和通用的方式进行交互,实现业务的灵活扩展。

云计算是物联网智能信息分析的核心要素。云计算技术的运用,使数以亿计的各类物品的实时动态管理变得可能。随着物联网应用的发展、终端数量的增长,可借助云计算处理海量信息,进行辅助决策,提升物联网信息处理能力。因此,云计算作为一种虚拟化、硬件/软件运营化的解决方案,可以为物联网提供高效的计算、存储能力,为泛在链接的物联网提供网络引擎。

从目前的物联网应用来看,都是各个行业自己建设系统,不便于多种业务的扩展,如果没有统一建设标准、规范的物联网接入、融合的管理平台,物联网将因为各行业的差异无法产生规模化效应,增加了使用复杂度与成本。

上述三层体系结构是笔者认为的物联网的一般体系结构。在已有的研究成果中,自主体系结构^[14]和EPC^[15]是两种比较有代表性的物联网体系结构,下面分别简要介绍。

文献[14]讨论了一种物联网的自主体系结构,该体系结构面向异构无线通信环境,采用自主通信。自主通信的核心是自主件(selfware),自主件执行网络控制平面功能,最重要的特性是能够保证网络的可演进性,也就是自主件能够执行网络新的功能。物联网的自主体系主要由四类平面组成:数据平面、控制平面、知识平面和管理平面。数据平面传送数据,控制平面向数据平面发送配置信息来优化数据平面的吞吐量和可靠性,知识平面包含整个网络的信息,服务于控制平面的适应性控制;管理平面管理数据平面、控制平面和知识平面的交互。

EPC(产品电子代码)是目前一种比较典型的物联网应用体系结构^[14]。EPC体系结构如图2所示。

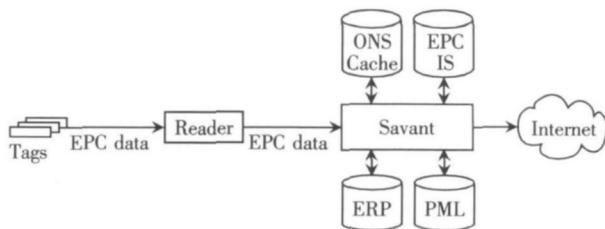


图2 EPC系统的基本组成

EPC体系结构涉及到EPC编码标准、EPC标签、读写器、对象名解析服务(Object Naming Service, ONS)、物理标记语言(Physical Markup Language, PML)^[15]等。EPC编码对物体及其相关信息进行代码化,从而建立全球通用的产品电子代码。EPC标签上存储有物体的产品电子代码和其他信息,安装在物体上。读写器通过射频方式读取物体

标签中的有关信息,或者往标签中写入有关信息。对象名解析服务则将产品电子代码匹配到相应的商品信息,其功能类似于互联网中的域名解析服务(DNS)。物理标记语言为物理实体的远程监控和环境监控提供一种通用标准的描述语言。目前 EPC 在物流中有着重要的应用。

2.2 物联网的异构融合网络层^[3, 16-17]

任何终端节点在物联网中都能实现泛在互联^[2-4]。由节点组成的网络末端网络,如传感器网、RFID 家居网、个域网、局域网、体域网、车域网等,连接到物联网的异构融合网络上,从而形成一个广泛互联的网络。物联网在核心层可以考虑 NGN/MS 融合,在接入层面需要考虑多种异构网络的融合和协同。

多个无线接入环境的异构性体现在以下几个方面^[16-17]:第一是无线接入技术(RAT)的异构性,它们的无线传输机制不同、覆盖的范围不同、可以获得的传输速率不同、提供的 QoS 不同、面向的业务和应用不同;第二是组网方式的异构性,除了经由基站接入的单跳式无线网络以外,还有多跳式的无线自组织网和网状网,它们的网络控制方式不同,有依赖于基础设施的集中控制,也有灵活的分布式协同控制;第三是终端的异构性,由于业务应用的多样性以及 IC 技术的不断提升,终端已从手机扩展到便携式电脑、各种类型的信息终端、娱乐终端、移动办公终端、嵌入式终端等,不同的终端具有不同的接入能力、移动能力和业务能力;第四是频谱资源的异构性,由于不同频段的传输特性不同,适用于各种频段的无线技术也不同,并且不同地区频谱规划方式也有显著区别;第五是运营管理的异构性,不同的运营商基于开发的业务以及用户群的不同,将会设计出不同的管理策略和资费策略。

由于异构网络相对独立自治,相互间缺乏有效的协同机制,造成了系统间干扰、重叠覆盖、单一网络业务提供能力有限、频谱资源浪费、业务的无缝切换等问题无法解决。面对日益复杂的异构无线环境,为了使用户能够便捷地接入网络,轻松地享用网络服务,“融合”已成为信息通信业的发展潮流。它包含三个层次的内容^[16-17]:首先是业务融合,就是以统一的 IP 网络技术为基础,向用户提供独立于接入方式的服务;其次是终端融合,现在的多模终端是终端融合的雏形,但是随着新的无线接入技术的不断出现,为了同时支持多种接入技术,终端会越来越复杂,价格也越来越高,更好的方案是采用基于

软件无线电的终端重配置技术,它可以使得原本功能单一的移动终端设备具备了接入不同无线网络的能力;第三是网络融合,包括固定网与移动网融合,核心网与接入网融合、不同无线接入系统之间的融合等。

异构网络融合的实现分为两个阶段^[3]:连通阶段和融合阶段。连通阶段指传感网、RFID 网、局域网、广域网等的互联互通,实现感知信息和业务信息传送到网络另一端的应用服务器进行处理以支持应用服务。融合阶段是指在各种网络连通的网络平台上,分布式部署若干信息处理的功能单元,根据应用需求而在网络中对传递的信息进行收集、融合和处理,从而使基于感知的智能服务实现得更精确。从该阶段开始,网络将从提供信息交互功能扩展到提供智能信息处理功能及支撑服务,并且传统的应用服务器网络架构向可管、可控、可信的集中智慧参与的网络架构演进。

2.3 感知节点及终端^[3]

感知节点既能采集物体本身的有关信息,也能探测、存储、处理乃至融合各种与物体相关的信息,从而向物联网提供各种关联信息。

微电子技术、嵌入式技术、近距离通信技术、传感器技术和智能标签技术等技术的发展与成熟使得感知节点能够智能地感知物体与环境并对其进行通信、处理和控制。感知节点方面的关键技术有:支持感知内容的多媒体化的感知节点技术、感知节点组合化的关键技术、感知节点的设计和低成本制造、感知节点在组网和协同方面的软硬件框架等^[3]。

RFID^[18-22]是物联网中的重要感知节点,它融合了信息技术、计算机技术、网络技术、射频技术等前沿科技。它是一种简单的无线系统,由一个阅读器和几个标签组成,标签包括了耦合元件及芯片,每个标签具有唯一的电子识别码,附着在物体上标识目标对象。阅读器发射某一特定频率的无线信号来触发标签电路将内部的数据送出,这样阅读器就可以接收到存储在芯片中的信息,实现对物体或商品的自动识别。该系统可用于物体的实时跟踪与监测,使人们能够将真实的物理世界映射到虚拟世界中。按照能源的供给方式分为无源标签、有源标签以及半有源标签。RFID 体积小,价格便宜,并且节点的生存时间不受电池的限制,因此它在物流、交通、健康和安等方面都有非常广泛的应用。

电子代码(Electronic Product Code, EPC)^[23]有可能成为物联网中的物体识别代码。EPC 与 RFID

技术推动了物联网的发展和应用。

物联网需要多样化、小型化、智能化和低成本的终端。物联网中的物体和终端需要唯一的标识地址,终端编址可能采用 IP 而物体编址则可能采用 EPC^[3 23]。

2.4 泛在传感网^[3 24-25]

泛在传感网是物联网末端采用的关键技术之一。泛在传感网是由多个传感节点组成的分布式无线自组织网络,用来感知温度、湿度、压力等环境参数,一般提供局域或小范围内物与物之间的信息交换。

泛在传感网一般分成三个部分^[3 24-25]:应用与服务层,下一代网络层,传感器网络层。应用与服务层提供医疗、军事、天气等服务;下一代网络层由核心网和接入网组成;最末端的传感器网络层属于感知延伸层。

传感网的主要研究内容包括通信、组网、管理和分布式信息处理等^[3 9 23 26]:网络结点、硬件组成和构造,传感网通信协议(包括物理层、数据链路层和网络层等),传感网中间件技术,分布式算法(包括网络拓扑发现算法、网络结点定位算法、拓扑控制、结点间时间同步算法、QoS控制、能源管理等),各种传感器网络应用系统开发等。

事实上,可以将传感网与 RFID 结合起来,形成 RFID 传感网(RFID sensor networks RSN)^[2 27],实现对物体更好的监测。将传感技术与无源标签结合在一起将给物联网带来许多新的应用,特别是在健康方面,最近人们已在这方面给出了一些应用方案^[28]。RFID 传感网络由基于 RFID 标签的传感节点以及具有 RFID 阅读器功能的汇聚节点(sink)组成,将 RFID WSN 和 RSN 进行相比,它们各自具有以下特点^[2]:RFID 系统非常小,非常便宜,并且它的生存时间不受电源的限制;WSN 具有更好的无线覆盖和通信能力,不需要阅读器;RSN 可以在一个无源系统中支持感知、计算和通信。

随着各项技术的成熟和发展,传感器网络的研究将会取得更大的进步,将对物联网建设起到重要作用。

2.5 物联网的服务平台技术

物联网将对信息进行综合分析并提供更智能的服务。物联网应用平台子集与共性支撑平台之间的关系、共性服务平台的开放性与规范性是物联网应用部署所要研究的关键问题^[3]。

面向泛在融合的物联网的可管可控可信服务平

台架构,如何保证业务质量和体验质量、支持泛在异构融合多种商业模式、提供签约协商等管理功能和保护用户数据隐私等是物联网服务平台方面的关键技术^[3]。

物联网服务平台技术向上层应用提供开放的接口,向下层屏蔽各种不同接入方式的差异,提供通用的标识、路由、寻址、管理、业务提供、业务控制与触发、QoS 控制、安全性、计费等功能,这些功能通过中间件(Middleware)技术、对象名称解析服务(Object Name Service ONS)技术、物理标记语言(Physical Markup Language PML)等关键技术来实现^[15 20 23]。

物联网的通用平台或中间件实现公共信息的交换以及公共管理功能,各个行业的具体应用通过子应用的方式来实现。中间件是一种独立的系统软件或者服务程序,它位于操作系统和数据库之上、应用软件之下。它的作用是管理计算机资源和网络通讯,连接两个独立应用程序或独立系统的软件^[15 20 23]。云计算也是一种中间件^[29]。

2.6 物联网的安全与隐私^[2-3 30-31]

物联网使得所有的物体都连接到全球互联网中,并且它们可以相互进行通信,因此物联网除了具有传统网络的安全问题外,产生了新的安全性和隐私问题。例如对物体进行感知和交互的数据的保密性、可靠性和完整性,未经授权不能进行身份识别和跟踪等。

物联网容易遭受攻击的原因有以下三点^[2 30]:首先感知节点多数部署在无人监控的场合中,人类会将基本的日常管理统统交给人工智能去处理,那么可以设想,如果哪天物联网遭到病毒攻击,也许就会出现工厂停产、社会秩序混乱现象,甚至于直接威胁人类的生命安全;其次在物联网的感知末端和接入网中,绝大部分采用了无线传输技术,很容易被偷听;最后是由于物联网末梢设备的在能源和处理能力有限,不能采用复杂的安全机制。

隐私的概念已经深深地融入到我们的文明社会当中,但是对隐私的保护严重影响了物联网技术的传播^[30]。人们对隐私的关心的确是合理的,事实上,在物联网中数据的采集、处理和提取的实现方式与人们现在所熟知的方式是完全不同的,在物联网中收集个人数据的场合相当多,因此,人类无法亲自掌控私人信息的公开。此外,信息存储的成本在不断降低,因此信息一旦产生,将很有可能被永久保存,这使得数据遗忘的现象不复存在。

实际上物联网严重威胁了个人隐私,而且在传

统的互联网中多数是使用互联网的用户会出现隐私问题,但是在物联网中,即使没有使用任何物联网服务的人也会出现隐私问题。

确保信息数据的安全和隐私是物联网必须解决的问题,如果信息的安全性和隐私得不到保证,人们将不会将这项新技术融入他们的环境和生活中。

2.7 物联网标准^[2]

在国际标准化方面,与物联网、泛在网和传感网研究相关的标准化组织非常多。有遍布全世界的 Auto-ID 实验室各分支机构、欧洲委员会及欧洲标准化组织、ITU ISO 以及其他一些标准联盟,如 IETF EPCglobal 等。关于 RFID 技术的标准化研究进展缓慢,研究重点主要是 RFID 工作频率、阅读器和标签之间的通信协议以及标记和标签的数据格式,研究 RFID 系统的主要机构有 EPCglobal ETSI 和 ISO。

目前大家都很期待欧洲电信标准协会下的 M2M 工作组和一些 IETF 工作组的研究成果。6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network) 正在致力于能与低处理能力设备相匹配的 IPv6 研究,ROLL (Routing Over Low Power and Lossy Networks) 主要研究方向是未来互联网解决方案的路由策略。目前关于 RFID 技术的标准化研究进展缓慢,重点 RFID 频率标签通信协议标记和标签的数据格式研究 RFID 系统的主要机构有 EPCglobal ETSI 和 ISO。

欧洲电信标准协会 (ETSI) 专门成立了一个专项小组 (M2M TC) 研究机器对机器 (M2M) 技术标准化。M2M 是走向物联网的真正领先典范,但是相关的标准却很少,在市场上各种解决方案都是使用标准的互联网技术、蜂窝网技术以及 Web 技术等。因此,ETSI M2M 委员会的目标包括: M2M 端到端体系结构的开发与维护 (其中蕴含着端到端 IP 的理念), 加强 M2M 系统的标准化工作,其中包括传感器网络集成、命名、寻址、定位、QoS 安全、计费、管理、应用及硬件接口的标准化。

可以看到, IETF 积极展开了物联网相关的工作,成立了 6LoWPAN 工作小组。6LoWPAN 定义了一系列协议,它将 IPv6 技术与无线传感器网络进行融合,采用分层结构的网络体系,使无线传感器网络间与 Internet 之间实现了无缝连接^[32]。为了适应 IEEE 802.15.4 帧包短的特点,6LoWPAN 将 IPv6 和 UDP 协议头进行了压缩,得到了一种非常高效的 IP 协议。

3 结论与展望

物联网处于起步阶段,关键技术有待突破,应用和市场有待于发展。未来 10 年中物联网技术和应用将会获得长足进步。

物联网领域主要研究内容我们认为有下述几个方面^[1-4, 33]:

(1) 物联网的网络架构: 物联网是基于现有网络的泛在融合网络,它应该既与现有网络兼容,又有自己独特的网络架构。那么物联网的网络架构究竟应该是怎样的? 现有的架构如何演进到物联网?

(2) 物联网的通信技术: 无线通信、无线智能传感器网络、微型传感器、网络通信、多媒体通信及宽带通信等已经相对成熟,但这些技术与物联网的关系、物联网给通信技术带来的新的问题等还未有深入的研究。与此相关的技术包括传感技术、识别技术、发现技术、计算技术、网络通信技术、嵌入式智能技术、软件技术等。

(3) 物联网的数据融合: 物联网中有海量的物体信息数据,如何处理海量的多样的数据信息,并将不同类型的数据进行融合是物联网的技术难题之一。

(4) 物联网的异构网络融合: 物联网本质上是泛在网络,需要融合现有的各种通信网络,并引入新的通信网络。要实现泛在的物联网,异构网络的融合是一个重要的技术问题。

(5) 物联网的智能终端: 智能终端的研究关系到物联网的感知延伸层能否得以实现。现有的智能终端主要有智能手机、PDA 等,如何将现有的智能终端用到物联网中或者开发物联网需要的智能终端是一个重要研究内容。

(6) 物联网的信息安全和保密: 安全和隐私将会是物联网面临的最大挑战。需要研究物联网的网络安全体系结构和安全技术,主要包括物联网的物理安全策略、访问控制策略、信息加密策略以及网络安全管理策略、系统安全技术、网络安全技术、应用安全技术、安全管理体系结构等。

(7) 物联网相关标准研究: 物联网还没有全球统一的标准,标准的缺失将大大制约技术的发展和规模化应用。标准建立是物联网产业发展的首要先决条件。

(8) 物联网应用和业务开发: 推动物联网快速发展必须实现一些应用领域的示范应用,因此相关技术的研究和应用系统的开发实现是推动物联网发

展的重要途径。可以通过“局部试点、重点示范”的产业发展模式来带动物联网产业的持续健康发展。

文献[4]分析预测,未来物联网的发展将经历四个阶段:2010年之前RFID广泛应用于物流、零售和制药领域,2010—2015年间实现物体互联,2015—2020年间物体进入半智能化,2020年之后物体进入全智能化。目前物联网相关技术仍在初级发展阶段,离物与物之间的普遍互连的远期目标还存在较大差距。文献[4]提出的各阶段物联网技术研发、产业化、标准化等方面的工作重点为:在技术方面,2010年前实现单个物体的低功耗低成本连接,2010—2015年实现物与物之间互联以及无所不在的标签和传感器网络,2015—2020年实现半智能化的标签和物体可执行指令,2020年后实现全智能化。在标准化方面,2010年之前完成RFID安全及隐私、无线频带、分布式控制处理协议的标准化,2010—2015年实现特定产业、交互式协议和交互频率、电源和容错协议的标准化,2015—2020年实现网络交互、智能器件间系统的标准化,2020年后智能健康安全的标准化。在应用和服务方面,2010年之前实现RFID在物流、零售、医药产业的应用、建立不同系统间交互的框架,2010—2015年增强系统间的互操作性、实现分布式控制分布式数据库和特定融合网络以及物联网在恶劣环境下的应用,2015—2020年实现分布式代码执行、全球化应用、自适应系统以及分布式存储、分布式处理等,2020年后实现人、物、服务网络的融合、产业整合、异质系统间应用等。在能源功耗方面,2010年之前实现降低能源消耗低功耗芯片组、超薄电池、电源优化系统;2010—2015年实现改进的能量管理、提高电池性能、实现能量捕获(储能、光伏)、印刷电池和超低功耗芯片组;2015—2020年实现可再生能源、多种能量来源、能量捕获(生物、化学、电磁感应)、恶劣环境下发电等;2020年后实现能量捕获、生物降解电池、无线电力传输。

参考文献:

- [1] IIT. IIT Internet Reports 2005: The Internet of Things [R]. Tunis: 2005.
- [2] ATZORI L, IERA A, MORABITO G. The Internet of Things: A survey [J]. *Computer Networks* 2010, 54(15): 2787—2805.
- [3] 朱晓荣, 孙君, 齐丽娜, 等. 物联网 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
ZHU Xiaorong, SUN Jun, QI Lina, et al. The Internet of Things [M]. Beijing: Post and Telecommunication Press, 2010. (in Chinese)
- [4] EPCSS. Internet of Things in 2020 Roadmap for the Future [R]. 2008.
- [5] Auto. ID Lab [EB/OL]. <http://www.auto-id-lab.org/>
- [6] 林世懿. 日本最新 IT 政策——从 Japan 介绍 [EB/OL]. http://mag.udn.com/mag/digital/storypage.jsp?f_ART_ID=88834
LIN Shi-yi. The latest IT strategy of Japan [EB/OL]. http://mag.udn.com/mag/digital/storypage.jsp?f_ART_ID=88834 (in Chinese)
- [7] 党梅梅, 续合元. 泛在网络架构与国际化现状 [J]. 通信技术与标准: 泛在网络专刊, 2010, 1(157): 1—3.
DANG Meimei, XU Heyuan. The survey of ubiquitous network architecture and international standard [J]. *Journal of Communication Technology and Standard: Special Issue on Ubiquitous Network* 2010, 1(157): 1—3 (in Chinese)
- [8] 朱洪波, 杨龙祥, 于全. 物联网的技术思想与应用策略研究 [J]. 通信学报, 2010, 11: 1—8.
ZHU Hongbo, YANG Longxiang, YU Quan. The research on the IoT key technologies and applications [J]. *Journal of Communications* 2010, 11: 1—8 (in Chinese)
- [9] HALLER S, KARNOUSKOS S, SCHROTH C. The Internet of Things in an Enterprise Context [C] // *Lecture Notes in Computer Science*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009, 5468: 14—28.
- [10] AKYILDIZ I F, SUW, SANKARASUBRAMANIAM Y, et al. Wireless sensor networks: a survey [J]. *Computer Networks* 2002, 38(4): 393—422.
- [11] 苗杰, 胡铮, 田辉, 等. 泛在网络发展趋势与研究建议 [J]. 通信技术与标准: 泛在网络专刊, 2010, 1(157): 4—9.
MIAO Jie, HU Zheng, TIAN Hui, et al. The recommendation on the ubiquitous network research and development [J]. *Journal of Communication Technology and Standard: Special Issue on Ubiquitous Network* 2010, 1(157): 4—9 (in Chinese)
- [12] 宋丽华, 王海涛. 中间件技术的现状及发展 [J]. 数据通讯, 2005(1): 51—54.
SONG Lihua, WANG Haitao. The current state and development of middleware technology [J]. *Journal of Data Communications* 2005(1): 51—54.
- [13] 吕航飞. 基于 SOA 的信息复用技术研究与应 [D]. 上海: 同济大学, 2007.
LV Hangfei. The research and application on information multiple reuse technique based on SOA [D]. Shanghai: Tongji University, 2007. (in Chinese)
- [14] 沈苏彬, 范曲立, 宗平, 等. 物联网的体系结构与相关技术研究 [J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2009, 29(6): 1—11.
SHEN Subing, FAN Quli, ZONG Ping, et al. The architecture and technologies of IoT [J]. *Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications: Natural Science* 2009, 29(6): 1—11.
- [15] The EPCglobal Architecture Framework: EPCglobal Final Version 1.3 [EB/OL]. [2010-11-22]. <http://www.epcglobalinc.org>
- [16] 田峰, 杨震. 基于 Mesh 技术的网络融合与协同 [J]. 中兴通讯技术, 2008, 14(3): 13—17.
TIAN Feng, YANG Zhen. Network convergence and coordination based on Mesh technology [J]. *Zhongxing Communication Technology* 2008, 14(3): 13—17.

- based on Mesh topology [J]. Journal of ZTE Communication Technology 2008 14(3): 13—17. (in Chinese)
- [17] SINGH J P, ALPCAN T, ZHU X, et al. Towards heterogeneous network convergence: Policies and middleware architecture for efficient flow assignment, rate allocation and rate control for multimedia applications [C] // Proceedings of 8th International Conference on Middleware for Next Generation Converged Networks and Applications (MNCNA'07). New York: ACM, 2007.
- [18] WELBOURNE E, BATTLE L, COLE G, et al. Building the internet of things using RFID: the RFID ecosystem experience [J]. IEEE Internet Computing 2009 13(3): 48—55.
- [19] MEALLING M. Auto-ID Object Name Service (ONS), v1.0 [J]. Auto-ID Center Working Draft, August 2003.
- [20] KRYLOV V, LOGVNOV A, PONOMAREV D. EPC Object Code Mapping Service Software Architecture Web Approach [M]. Ontario: MERA Networks Publications, 2008.
- [21] SRINASTAVA L. Pervasive ambient ubiquitous theme of radio [C] // European Commission Conference "From RFID to the Internet of Things". Brussels, Belgium, March 2006.
- [22] FLOERKEMEIER C, BHATTACHARYYA R, SARMA S. Beyond RFID [C] // Proceedings of TWDC 2009, Pula, Italy, September 2009.
- [23] SUNG J, LOPEZ T S, KIM D. The EPC sensor network for RFID and WSN integration infrastructure [C] // Proceedings of IEEE PerCom'07, Piscataway: IEEE, 2007: 618—621.
- [24] LANDEGEM T V, VISWANATHAN H. Anywhere, Anytime, Immersive Communications [J]. Enriching Communications 2008 2(1): 68—72.
- [25] BROLL G, RUKZIO E, PAOLUCCIM, PERCI. Pervasive service interaction with the internet of things [J]. IEEE Internet Computing 2009 13(6): 74—81.
- [26] DADA A, THIESSE F. Sensor applications in the supply chain: the example of quality based issuing of perishables [C] // Proceedings of Internet of Things, Heidelberg: Springer Verlag, 2008: 140—154.
- [27] BUETINER M, GREENSTEIN B, SAMPLE A, et al. Revisiting smart dust with RFID sensor networks [C] // Proceedings of ACM HoNets, New York: ACM, 2008.
- [28] <http://seattle.intel.research.net/wisp/>
- [29] Hydra Middleware Project FP6 European Project EB/OIj. <http://www.Hydramiddleware.eu>
- [30] MEDAGLIA CM, SERBANATIA. An overview of privacy and security issues in the internet of things [C] // Proceedings of TWDC 2009, Pula, Italy, September 2009: 389—395.
- [31] NILSEN A. Security and privacy standardization in internet of things [C] // eMatch 09-Future Internet Workshop, Oslo, Norway, September 2009.
- [32] 张宏科, 梁露露, 高德云. P6 无线传感器网络的研究及其应用 [J]. 中兴通讯技术, 2009 15(5): 37—40.
ZHANG Hongke, LIANG Lulu, GAO Deyun. The research and application of wireless sensor network based on P6 [J]. Journal of ZTE Communication Technology 2009 15(5): 37—40. (in Chinese)
- [33] Commission of the European Communities. Internet of Things: An action plan for Europe [R]. 2009.

作者简介:



朱洪波 (1956—), 男, 江苏扬州人。南京邮电大学副校长, 物联网研究院院长, 教授, 博士生导师。主要研究方向为泛在无线通信与物联网技术、宽带无线通信、无线通信中的电磁兼容。

杨龙祥 (1966—), 男, 江苏盐城人。南京邮电大学通信与信息工程学院副院长, 教授, 博士生导师。主要研究方向为宽带无线通信、未来移动通信系统、协作通信和网络编码。

朱琦 (1965—), 女, 江苏苏州人。南京邮电大学江苏省无线通信重点实验室教授。主要研究领域包括: 下一代移动通信技术、宽带无线接入技术、OFDM技术、信道和信源编码技术、无线资源动态分配技术等。