

# 物联网的体系结构与相关技术研究

沈苏彬<sup>1</sup>, 范曲立<sup>2</sup>, 宗平<sup>1</sup>, 毛燕琴<sup>1</sup>, 黄维<sup>2</sup>

1 南京邮电大学 软件学院, 江苏 南京 210003  
2 南京邮电大学 信息材料与纳米技术研究院, 江苏 南京 210046

**摘要:** 物联网技术已经引起国内学术界、工业界和新闻媒体的高度重视, 当前物联网的定义、内在原理、体系结构和系统模型等方面还存在许多值得探讨的问题, 通过对现有物联网技术文献和应用实例的分析, 探讨了物联网与下一代网、网络化物理系统和无线传感器网络的关系; 提出了物联网的服务类型和结点分类, 设计了基于无源、有源和互联网结点的物联网的体系结构和系统模型; 在总结物联网特征基础上, 对物联网的研究提出了建议。

**关键词:** 物联网; 网络化物理系统; 下一代网; 产品电子标签; 网络体系结构

**中图分类号:** TP393      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1673-5439(2009)06-0001-11

## Study on the Architecture and Associated Technologies for Internet of Things

SHEN Su-bin, FAN Qu-li, ZONG Ping, MAO Yan-qin,  
HUANG Wei

1. College of Software, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China  
2. Institute of Advanced Materials, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China

**Abstract:** The technology of the Internet of Things (IoT) has attracted highly attention of academia, industry and news media. There are still many open issues in the definition, internal principles, architectures and system models of IoT. Through the analysis of current technical materials and application cases of IoT, this paper discusses the relations between Next Generation Network, Cyber-Physical Systems, Wireless Sensor Network and the IoT. It proposes service types and node classification of IoT and designs the architecture and system model of IoT based on passive, active and internet nodes structure of IoT. After summary of the features of IoT, it proposes the suggestions on the researches and development of IoT.

**Key words:** internet of things; cyber-physical systems; network generation network; electronic product code; network architecture

## 1 物联网研究背景

随着政府对于物联网研究和开发的高度重视, 物联网已经引起国内学术界、工业界和新闻媒体的高度重视, 物联网研究和技术的报道已经十分普及。2009年10月, 通过谷歌查询“物联网”关键词, 获得了约500多万条结果, 如表1所示。可以看出, 对于物联网的关注程度相当于对“商品房价格”和“传感

器网络”的关注程度, 远小于对“软件”(2亿多条)、“互联网”(1亿多条)、“奥运会”(约3千万条)的关注程度; 大于对“物价指数”(约300万条)的关注程度, 远大于对“第三代移动通信”(约71万条)的关注程度。

通过与物联网相关技术的搜索可以看出, 虽然物联网的被关注程度远小于“网络安全”、“RFID (Radio Frequency Identification)”、“下一代网络”和

收稿日期: 2009-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(90412002)、国家高技术研究发展计划(863计划)(2006AA01Z208)资助项目

通讯作者: 黄维 电话: (025)85866008 E-mail: jianwhuang@njupt.edu.cn

“嵌入式系统”(超过或者接近1千万条)技术的被关注程度,但是,与“传感器网络”的关注程度十分接近,而传感器网络发展历史远长于物联网。从以上搜索结果可以看出,物联网已经迅速成为当前具有影响力的技术。

表 1 在谷歌网站上 2009年 10月的搜索结果

序号	关键词	搜索结果/条
1	软件	241 000 000
2	互联网	127 000 000
3	奥运会	29 100 000
4	网络安全	16 000 000
5	RFID	15 700 000
6	下一代网络	11 200 000
7	嵌入式系统	9 390 000
8	商品房价格	5 640 000
9	传感器网络	5 480 000
10	物联网	5 220 000
11	物价指数	2 730 000
12	第三代移动通信	705 000

社会各界在较短时间内对于物联网产生了极大的关注,说明许多人相信物联网可能对人类社会、人们日常生活产生巨大的影响。无论国内还是国外,物联网的研究和开发才处于起步阶段,有关物联网的定位和特征还存在一些混乱的概念,物联网的系统模型和结构尚没有形成标准,物联网的研究和开发在国内还存在一定程度的盲目性。

从科学研究的角度看,物联网的研究和开发存在一些值得思考的问题。例如,物联网是否就是传感器网络?什么是物联网研究和开发的核心技术?什么是物联网的创新能力?物联网与互联网存在哪些本质的区别?如何开展对我国经济和社会发展有价值的物联网研究和开发?

本文在分析物联网相关的技术和应用的基础上,试图回答以上有关物联网的问题;在分析和研究已有物联网技术方案的基础上,尝试提出一种物联网互连体系结构,用于指导物联网的理论研究;在分析和研究物联网应用实例的基础上,试图提出一种物联网系统模型,用于指导物联网技术标准的研究和应用系统的开发。在以上研究基础上,试图得出物联网不同于互联网的特征,从中推导出科学地开展物联网研究和开发的基本原则,为我国的物联网研究和开发提供有科学依据的参考。

2 物联网的基本概念

2.1 物联网的基本定义

按照国际电信联盟(ITU)的定义<sup>[1]</sup>,物联网主要解决物品到物品(Thing to Thing T2T)、人到物品(Human to Thing H2T)、人到到(Human to Human H2H)之间的互连。

这里与传统互联网不同的是,H2T是指人利用通用装置与物品之间的连接,H2H是指人之间不依赖于个人电脑而进行的互连。需要利用物联网才能解决的是传统意义上的互联网没有考虑的、对于任何物品连接的问题。

物联网是连接物品的网络,有些学者在讨论物联网中,常常提到M2M的概念,可以解释成为人到到(Man to Man)、人到机器(Man to Machine)、机器到机器(Machine to Machine)。实际上M2M所有的解释在现有的互联网都可以实现,人到到之间的交互可以通过互联网进行,最多可以通过其他装置间接地实现,例如第三代移动电话,可以实现十分完美的人到人的交互;人到机器的交互一直是人体工程学和人机界面领域研究的主要课题;而机器与机器之间的交互已经由互联网提供了最为成功的方案。本质上,在人与机器、机器与机器的交互,大部分是为了实现人与人之间的信息交互,万维网(World Wide Web)技术成功的动因在于:通过搜索和链接,提供了人与人之间异步进行信息交互的快捷方式。

我们认为,在物联网研究中不应该采用M2M概念,这是容易造成思路混乱的概念,应该采用ITU定义的T2T、H2T和H2H的概念。

2.2 物联网与下一代网络

按照ITU物联网研究组的研究结论<sup>[1]</sup>,物联网的核心技术主要是普适网络、下一代网络和普适计算。这3项核心技术的简单定义如下,普适网络,无处不在的、普遍存在的网络;下一代网络,可以在任何时间、任何地点,互连任何物品,提供多种形式信息访问和信息管理的网络;普适计算,无处不在的、普遍存在的计算。其中下一代网中“互连任何物品”的定义是ITU物联网研究组对下一代网定义的扩展,我们认为,这是对下一代网发展趋势的高度概括。从现在已经成为现实的多种装置的互连网络,例如手机互连、移动装置互连、汽车互连、传感器互连等等,都揭示了下一代网在“互连任何物品”方面的发展趋势。从以上的定义可以看出,下一代网络

在某种角度看, 就是可以连接任何物品的物联网。

按照传统的定义, 下一代网络是在任何时间、任何地点, 以任何方式提供信息访问和管理的服务。传统意义上的下一代网侧重于为人提供方便的信息服务, 所以, 从网络服务角度看, 下一代网络可以称为信息网络; 而从互连角度看, 这种传统的下一代网定义还是局限在传统互联网的范畴, 仅仅强调人与人之间的信息交互。

我们认为, 应该按照 ITU 的定义, 把物联网研究和开发纳入下一代网的范畴, 而不是把下一代网络仅仅作为引入 IP 核心网、移动性和个性化服务的网络, 这样, 下一代网可以真正推动人类社会的发展。

人与人之间的信息交互是具有百年发展历史的电信网主要业务范畴, 引入了物联网理念的下一代网, 从根本上扩展了电信网的业务范畴, 可以真正推动电信业务和电信网络的全面变革, 可以为电信网(包括固定电信网和移动电信网)创造新的发展机遇。

### 2.3 物联网与 CPS

随着处理器、存储器、网络带宽等成本的下降, 嵌入式系统广泛应用于许多领域, 特别是广泛应用于各类物理设备中, 例如飞机、汽车、家电、工业装置、医疗器械、监控装置和日用物品。国际上把利用计算技术监测和控制物理设备行为的嵌入式系统称为网络化物理系统<sup>[2-3]</sup> (CPS: cyber physical systems) 或者深度嵌入式系统 (deeply embedded systems)<sup>[4-5]</sup>, CPS 也可以翻译为“物理设备联网系统”。

美国总统的科学技术咨询委员会 (PCAST) 在 2007 年 8 月发布的题为“挑战下的领导地位: 在世界竞争中的信息技术研发”的咨询报告<sup>[6]</sup> 中, 明确建议把 CPS 作为美国联邦政府研究投入最高优先级的课题, 由此启动了美国高校和研究机构的 CPS 研发热潮。

PCAST 咨询报告认为<sup>[6]</sup>, CPS 的设计、构造、测试和维护难度较大、成本较高, 通常涉及到无数联网软件和硬件部件, 在多个子系统环境下的精细化集成。在监测和控制复杂的、快速动作的物理系统(例如医疗设备、武器系统、制造过程、配电设施)运行时, CPS 在严格的计算能力、内存、功耗、速度、重量和成本的约束下, 必须可靠和实时地操作。绝大部分 CPS 系统都是安全关键的系统, 必须在外部攻击和打击下能够继续正常工作。这种融合信息世界和物理世界的技术具备以下自身的特征:

(1) CPS 是未来经济和社会发展的革命性技

术。CPS 是信息领域的网络化技术、信息化技术, 与物理系统中控制技术、自动化技术的融合。CPS 可以连接原来完全分割的虚拟世界和现实世界的关联, 使得现实的物理世界与虚拟的网络世界连接, 通过虚拟世界的信息交互, 优化物理世界的物体传递、操作和控制, 构成一个高效、智能、环保的物理世界。从这个角度看, CPS 技术是可以改变未来经济和社会发展的革命性技术。

(2) 信息材料本身就是一种 CPS 技术。材料技术与信息技术融合构成的信息材料技术本身就是一种 CPS 技术, 它是最为基础的网络化世界与物理世界连接的技术。例如小型化、低成本、环保节能的新型材料传感器、显示器等技术, 都是 CPS 发展中的关键技术。

(3) CPS 要求计算技术与控制技术的融合。为了把网络世界与物理连接, CPS 必须把已有的、处理离散事件的、不关心时间和空间参数的计算技术, 与现有的、处理连续过程的、注重时间和空间参数的控制技术融合起来, 使得网络世界可以采集物理世界与时间和空间相关的信息, 进行物理装置的操作和控制。

(4) CPS 要求开放的嵌入式系统。CPS 系统中的计算技术主要是嵌入式系统, CPS 中的嵌入式计算系统不是传统的封闭性系统, 而是需要通过网络, 与其他信息系统进行互联和互操作的系统。CPS 要求的嵌入式系统是一种开放的嵌入式系统, 需要提供标准的网络访问接口和交互协议、标准的计算平台和服务调用接口、标准的计算环境和管理界面。

(5) CPS 要求可靠和确定的嵌入式系统。CPS 把计算技术带入了与国家基础设施、人们日常生活密切相关的领域, CPS 大部分应用领域是与食品卫生一样的安全敏感的领域, CPS 的技术和产品需要经过政府严格的安全监督和认证。原来信息技术领域习以为常的“免责”条款将不再适用, CPS 技术和产品必须成为高可靠的、行为确定的产品, CPS 技术要求可靠和确定的嵌入式系统。

对照国际电信联盟有关物联网的定义以及 PCAST 咨询报告有关 CPS 定义, 我们认为 CPS 是物联网的专业称呼, 侧重于物联网内部的技术内涵; 而物联网是 CPS 的通俗称呼, 侧重于 CPS 在日常生活中的应用。从专业角度看, CPS 提供了物联网研究和开发所需要的理论和技术内涵; 从应用角度看, 物联网提供了 CPS 未来应用的一个直观画面, 更加适合于普及 CPS 方面的科学知识。物联网的研究和

开发应该从 CPS入手和深入,而 CPS技术和产品的普及和应用可以从物联网角度介绍和举例。

2 4 物联网与无线传感器网络

由于目前对于物联网研究尚未深入,对于物联网的技术内涵也缺乏专业的研究,有些专业的或非专业的报道通常会把无线传感器网络作为物联网。实际上,只要略微查询一下专业学术刊物,研究无线传感器网络的定义,对比物联网定义,就可以得出较为科学的结论。

按照国内权威学术期刊的定义<sup>[7]</sup>,无线传感器网络是一种“随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信模块的微小节点通过自组织的方式构成网络”,它可以“借助于节点中内置的形式多样的传感器测量所在周边环境中的热、红外、声纳、雷达和地震波信号”,并且“传感器网络有着与传统网络明显不同的技术要求,前者以数据为中心,后者以传输数据为目的”。所以,无线传感器网络并没有赋予 T2T的连接能力,更不具备与物理系统连接并且控制物理系统的能力。

我们认为,无线传感器网络仅仅是采集和传递数据,并没有涉及到物联网中的核心控制技术,也不具备 CPS要求的高可靠性。所以,无线传感器网络并不是物联网,更不是网络化物理系统,无线传感器网络的相关技术在一定程度上可能支撑物联网的开发。

3 物联网体系结构

要深入研究物联网的体系结构,必须首先研究物联网已经构建的应用系统和应用实例。物联网已经在仓储物流<sup>[8]</sup>,假冒产品的防范<sup>[9]</sup>,智能楼宇、路灯管理、智能电表、城市自来水网等基础设施<sup>[10-11]</sup>,医疗护理<sup>[12]</sup>等领域得到了应用。

人类社会的相当长时间内将面临两大难题:其一是能源短缺和环境污染;其二是人口老龄化和慢性病增加,物联网首要的应用在于能耗控制和医疗护理。人类社会目前遇到的问题是:恐怖活动和信任危机,物联网目前急需的应用在于安防监控、物品身份鉴别。另外,物联网在智能交通、仓储物流、工业控制等方面都有较大的应用价值。已经公开的物联网的应用实例基本上围绕这些应用领域。

3 1 物联网已有的体系结构

在公开发表物联网应用系统的同时,很多研究

人员也发表了若干个物联网的体系结构,例如物品万维网的(Web of Things WoT)体系结构<sup>[13]</sup>,它定义了一种面向应用的物联网,把万维网服务嵌入到系统中,可以采用简单的万维网服务形式使用物联网。这是一个以用户为中心的物联网体系结构,试图把互联网中成功的、面向信息获取的万维网应用结构移植到物联网上,用于简化物联网的信息发布和获取。

物联网的自主体系结构<sup>[14]</sup>是为了适应于异构的物联网无线通信环境而设计的体系结构。该自主体系结构采用自主通信技术。自主通信是以自主件(selfware)为核心的通信,自主件在端到端层次以及中间结点,执行网络控制面已知的或者新出现的任务,自主件可以确保通信系统的可进化特性。

物联网的自主体系结构如图 1所示,包括了数据面、控制面、知识面和管理面,数据面主要用于数据分组的传递,控制面通过向数据面发送配置报文,优化数据面的吞吐量以及可靠性;知识面提供整个网络信息的完整视图,并且提炼成为网络系统的知识,用于指导控制面的适应性控制;管理面协调和管理数据面、控制面和知识面的交互,提供物联网的自主能力。

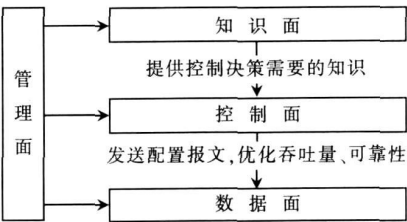


图 1 一种物联网的自主体系结构

这里自主特征主要由 SIP/SP协议栈和智能层取代传统的 TCP/IP协议栈,如图 2所示,这里的 SIP和 SP分别表示智能传送协议(Smart Transport Protocol)和智能协议(Smart Protocol),物联网结点的智能层主要用于协商交互结点之间 SIP/SP的选择,用于优化无线链路之上的通信和数据传送,满足异构物联网设备之间的联网的需求。

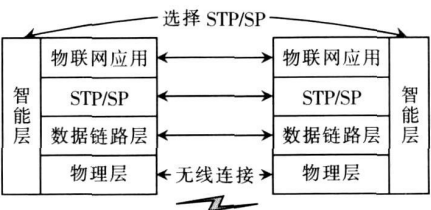


图 2 物联网自主体系结构的协议栈

这种面向物联网的自主体系结构涉及的协议栈较为复杂,只能适用于计算资源较为富裕的物联网



据不同领域的物联网应用需求, 以上服务类型可以进行相应的扩展或裁剪。物联网的服务类型是设计和验证物联网体系结构和物联网系统的主要依据。

3.2.2 物联网的结点分类

为了构建物联网的体系结构, 首先需要划分物联网中网络结点的类型。物联网结点可以分成无源 CPS 结点、有源 CPS 结点、互联网 CPS 结点, 其特征从以下方面进行描述: 电源、移动性、感知性、存储能力、计算能力、联网能力、连接能力, 具体如表 2 所示。

表 2 物联网结点类型与特征

结点类型	无源 CPS	有源 CPS	互联网 CPS
电源	无	有	不间断
移动性	有	可有	无
感知性	被感知	感知	感知
存储能力	无	有	强
计算能力	无	有	强
联网能力	无	有	强
连接能力	T <sub>2</sub> T	T <sub>2</sub> T H <sub>2</sub> T H <sub>2</sub> H	H <sub>2</sub> T H <sub>2</sub> H

无源 CPS 结点, 就是具有电子标签的物品, 这是物联网中数量最多的结点, 例如携带电子标签的人可以成为一个无源 CPS 结点。无源 CPS 结点一般不带电源, 可以具有移动性, 具有被感知能力和少量的数据存储能力, 不具备计算和联网能力, 提供被动的 T<sub>2</sub>T 连接。

有源 CPS 结点, 具备感知、联网和控制能力的嵌入式系统, 这是物联网的核心结点, 例如装备了可以传感人体信息的穿戴式电脑的人可以成为一个有源 CPS 结点。有源 CPS 带有电源, 可以具有移动性、感知、存储、计算和联网能力, 提供 T<sub>2</sub>T H<sub>2</sub>T H<sub>2</sub>H 连接。

互联网 CPS 结点, 具备联网和控制能力的计算机系统, 这是物联网的信息中心和控制中心, 例如具有物联网安全性、可靠性要求的, 能够提供时间和空间约束服务的互联网结点就是一个互联网 CPS 结点。互联网 CPS 结点不是一般的互联网的结点, 它是属于物联网系统中的结点, 采用了互联网的联网技术相互连接, 但具有物联网系统中特有的时间和空间的控制能力, 配备了物联网专用的安全性和可靠性的控制体系。互联网 CPS 结点具有不间断电源, 不具备移动性, 可以具有感知能力, 具有较强的存储、计算和联网能力, 可以提供 H<sub>2</sub>T H<sub>2</sub>H 连接。

3.2.3 物联网互连体系结构

根据以上物联网结点的分类, 可以进一步研究可能存在的连接类型, 例如物联网结点之间存在无

源结点与有源 CPS 结点, 有源 CPS 与有源 CPS 结点, 以及有源 CPS 结点与互联网 CPS 结点之间的连接, 这些类型的连接结构构成了物联网互连的体系结构。

由于物联网的异构性, 我们建议的通用物联网体系结构由 3 部分构成: 无源 CPS 结点与有源 CPS 结点互连结构, 有源 CPS 结点与有源 CPS 结点互连结构, 有源 CPS 结点与互联网结点互连结构。

无源 CPS 结点与有源 CPS 结点互连结构如图 4 所示, 无源 CPS 结点通过物理层协议与有源 CPS 结点连接, 例如通过 RFID 协议, 有源 CPS 可以获取无源 CPS 结点上电子标签的信息。

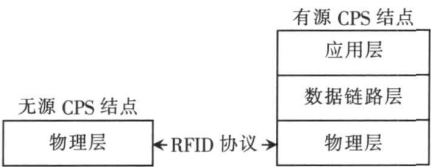


图 4 无源 CPS 结点与有源 CPS 结点互连结构

有源 CPS 结点与有源 CPS 结点互连结构如图 5 所示, 有源 CPS 结点之间通过物理层、数据链路层和应用层的协议交互, 实现有源 CPS 结点之间的信息采集、传递和查询。考虑到大部分有源 CPS 结点资源限制十分严格, 有源 CPS 结点不适合配置已有的 IP 协议; 配置的数据链路协议也应该是面向物联网的数据链路层协议, 可以保证可靠、高效、节能地采集、传递和查询信息, 满足物联网结点交互的应用需求。



图 5 有源 CPS 结点与有源 CPS 结点互连结构

有源 CPS 结点之间的信息转发和汇聚可以通过应用协议实现, 这样, 可以按照应用需要, 设计灵活的信息采集和转发的协议, 不需要采用通用的、低效的互联网中的 IP 协议。

有源 CPS 结点与互联网 CPS 结点互连结构如图 6 所示, 有源 CPS 结点需要通过 CPS 网关, 才能连接互联网结点。CPS 网关实际上是一个有源 CPS 结点与互联网 CPS 结点的组合, 其中实现了完整的互联网协议栈。这样, 通过 CPS 网关, 可以在应用层与互联网连接, 实现物联网与互联网之间信息传递, 以及物联网应用与互联网应用之间的互通、互连和互操作。这种互连结构可以允许不同类型的物联

网采用满足自身需要的联网结构, 简化不必要的联网功能, 降低网络系统的复杂性。不同的物联网联网技术, 例如汽车电子联网技术、环境监测联网技术

等, 可以采用适用于各自应用领域的有源 CPS 结点之间连接的协议结构, 只需要通过 CPS 网关, 就可以与互联网连接。



图 6 有源 CPS 结点与互联网 CPS 结点互连结构

在以上定义的物联网体系结构中, 物联网物理层协议, 提供在物理信道上采集和传递信息的功能, 具有一定的安全性和可靠性控制能力; 物联网数据链路层协议, 提供对物理信道访问控制、复用, 在链路层安全、可靠、高效传递数据的功能, 具有较为完整的可靠性、安全性控制能力, 可以提供服务质量的保证; 应用层协议, 提供信息采集、传递、查询功能, 具有较为完整的用户管理、联网配置、安全管理、可靠性控制能力。

4 物联网的系统模型

从抽象的物联网结点的互连结构可以提取出隐藏物联网背后的关键理论和技术, 但这并不能完整反映出物联网系统实现中的关键技术, 我们需要设计一个通用的物联网系统模型, 进一步提取出物联网实现系统的关键技术和方法。在目前已发表的论文中还没有看到一个通用的物联网的系统模型, 这样, 难以指导物联网的研究和开发。

在前面提出的通用物联网体系结构的基础上, 我们提出一个通用物联网的系统模型, 试图通过物联网的系统模型, 分析和梳理在实现物联网系统过程中涉及到的关键技术和方法。构建物联网通常需要分成标识物品、建立物品联网系统和建立物联网应用系统, 以下将从这 3 个方面讨论物联网系统的设计和实现技术。

4 1 标识物品

世界上所有的物品可以简单分成人造物品和自然物品, 人造物品包括食品、纺织品、其他日用品、货物、道路、桥梁、楼房、汽车、飞机、轮船、生产线等, 通常在人造物品上贴上电子标签或者传感装置, 就可以把人造物品改造成 CPS 结点。自然物品包括动物、植物、山峰、河流、湖泊等, 这些自然物品也可以

贴上电子标签或配置传感装置, 改造成为 CPS 结点。例如牛角上贴上电子标签, 奶牛也成为是一个 CPS 结点, 可以智能化管理奶牛的喂养和挤奶等操作; 盲人穿着具有电子标签的鞋子, 也可以成为一个 CPS 结点, 与盲道上的电子标签阅读器协同操作, 就可以指导盲人的行走。

构建物联网系统的第一步是标识物品, 也就是表示世界上所有的物品, 这里需要利用电子标签和传感器技术。而电子标签, 特别是用于自然物品的电子标签, 需要具备防水、耐磨、耐高温等特性, 并且具备一定的电磁特征, 这方面需要采用信息材料技术, 这是属于物联网的最为基础的技术, 是一个应用十分广泛的技术。在信息材料技术方面的任何突破, 都会带来物联网产业的大幅度发展。因为电子标签和低端传感器是面广量大的产品, 信息材料技术在降低成本、提供质量方面的任何改进, 都会扩展物联网的应用面, 降低物联网部署成本, 提高物联网产业的收益。所以, 信息材料技术的原始创新和自主创新, 必定会带动我国经济和社会的发展。

标识物品的另外一项技术就是世界统一的物品编码技术。目前还没有针对物联网的全球物品编码技术, 产品电子代码 (EPC) 是关于全球产品类电子代码编制的一个规范, EPC 由 EPCglobal (http://www.epcglobalinc.org/) 负责标准化和应用<sup>[15]</sup>, 它是国际物品编码协会 EAN 和美国统一代码委员会 (UCC) 的一个合资公司。它是一个受业界委托而成立的非盈利组织, 负责 EPC 网络的全球化标准。EPC 网络由自动标识 (Auto-ID) 中心开发, 其研究总部设在麻省理工学院, 并且还有全球 7 所大学, 美国麻省理工学院 (MIT), 英国剑桥大学 (Cambridge), 澳大利亚阿德莱德大学 (Adelaide), 日本庆应大学 (Keio), 中国复旦大学 (Fudan)、韩国信息与通信大学 (IU) 和瑞士圣加仑大学 (St Gallen) 的实验室参与。



## 4.2 建立物品联网系统

在完成物品标识之后,就可以建立物品联网系统,需要建立可以识别、验证和采集被标识物品的物联网结点,这个结点就是有源 CPS 结点。

为了实现有源 CPS 结点,首先需要设计和实现有源 CPS 结点与无源 CPS 结点、有源 CPS 结点与有源 CPS 结点之间的无线通信机制,以及基于信息编解码技术的物品识别机制。其次必须设计和实现通信信道复用机制,使得在一条信道上可以同时完成多个无源或者有源 CPS 结点的通信,例如 RFID 技术同时可以识别 100 多个具有 RFID 标签的物品。然后需要设计和实现通信信道上的可靠传输机制、实时传输机制,满足物联网对可靠性和实时性的要求。前面两个部分可以构成物联网系统中的联网系统(见图 7)。

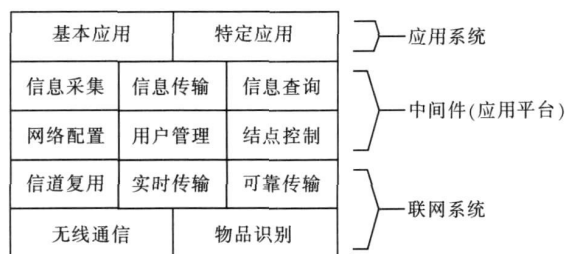


图 7 有源 CPS 结点实现系统

## 4.3 建立物联网应用系统

由于物联网的特殊性,物联网应用系统需要分成两阶段建立:建立物联网应用平台,建立物联网应用系统。

在建立有源 CPS 结点的联网系统之后,就需要设计和实现有源 CPS 结点的网络配置、用户管理、结点控制、信息采集、信息传输和信息查询的功能,建立一个基本的物联网的应用平台,这也就是面向某个具体应用领域的物联网中间件(见图 7)。因为不同的应用领域对于结点控制的可靠性、实时性、安全性有不同的要求,所以,需要针对不同应用领域,设计和实现不同控制力度的应用中间件。设计和实现物联网应用的中间件,可以隔离物联网特定联网系统,满足快速应用开发的需求。

在设计和实现物联网应用中间件过程中,需要参照物联网相关领域的应用平台服务接口标准,如果是一个全新的物联网应用领域,可以在设计和实现物联网应用中间件过程中,提取与实现无关的部分,形成该领域的物联网应用平台服务接口技术规范。

在建立物联网应用中间件之后,就可以进一步

设计和实现物联网应用系统,包括基本应用系统和特定应用系统,如图 8 所示。基本应用系统可以包括物品命名管理系统、物品身份真伪验证系统、物联网系统管理等,特定应用系统可以包括仓储管理系统、楼宇监控系统、环境监测系统等。

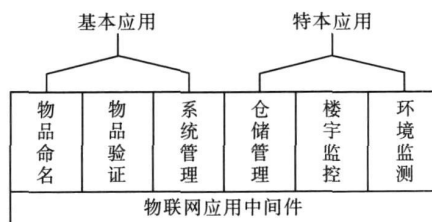


图 8 物联网应用系统逻辑结构

大部分物联网结点计算和存储资源都较为有限,物联网应用系统的部署是一个关键的技术。物联网应用系统需要区分应用系统的物联网端和互联网端,如图 9 所示,应用系统物联网端部署在有源 CPS 结点上,可以作为应用系统的客户端(采用客户机/服务器)也可以作为应用系统的对等端(采用 P2P 应用模式),但是,必须要求功能简洁可靠;应用系统互联网端部署在互联网 CPS 结点上,可以作为应用系统的服务器端(采用客户机/服务器)也可以作为应用系统的对等端(采用 P2P 应用模式),但都需要提供较为强大的存储和后端处理能力,满足物联网应用的需求。

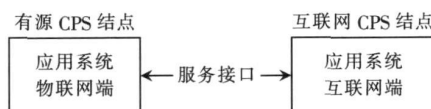


图 9 物联网应用系统部署结构

## 5 物联网研究与开发面临的挑战

物联网研究和开发既是机遇,更是挑战<sup>[16-17]</sup>。如果能够面对挑战,从深层次解决物联网中的关键理论问题和技术难点,并且能够将物联网研究和开发的成果应用于实际,则我们就可以在物联网研究和开发中获得发展的机遇。否则,物联网研究和开发只会浪费时间和资源,又一次错过了在科学和技术领域发展的机遇。

物联网研究和开发面临 3 个方面的挑战:基础研究方面的挑战,技术开发方面的挑战,以及示范系统构建和部署方面的调整。

### 5.1 基础研究方面的挑战

美国加州大学伯克利分校 Edward A. Lee 教授在分析了当今计算和联网方式与物理处理过程<sup>[16]</sup>,



提出了两者的差异: 物理系统中的部件在安全性和可靠性方面的需求与通用计算部件存在质的差异; 物理部件与面向对象的软件部件也存在质的差异, 计算和联网技术采用的基于方法调用和线程的标准抽象体系在物理系统中无法工作。由此, Lee 教授提出这样的疑问: 今天的计算和联网技术是否能够作为开发 CPS 系统提供足够的基础? 其研究结论是: 必须再造计算和网络的抽象体系, 以便统一物理系统的动态性和计算的离散性。

如何再造计算和网络的抽象体系, 这是物联网基础研究的核心内容, 包括如何在编程语言中增加时序, 如何重新定义操作系统和编程语言的接口, 如何重新思考硬件与软件的划分, 如何在互联网中增加时序, 如何计算系统的可预测性和可靠性等。

## 5.2 技术开发方面的挑战

物联网技术开发中, 面临诸多的技术开发方面的挑战。物联网是嵌入式系统、联网和控制系统的集成, 它由计算系统、包含传感器和执行器的嵌入式系统等异构系统组成, 首先需要解决物理系统与计算系统协同处理。在物联网环境下, 事件检测和动作决策操作涉及到时间和空间<sup>[18]</sup>, 这些操作必须准确和实时, 以保证物联网操作中时间和空间的正确性。需要分析事件的时间和空间特性, 设计面向物联网的、具有时间和空间条件限制的分层物联网事件模型。

物联网技术开发中, 还需要建立物联网的可依赖性模型<sup>[11]</sup>, 这也是进行物联网开发的一个挑战。采用传统的方法, 分别评价、建模和仿真组成物联网的物理装置和网络部件, 这样无法构造整个物联网系统的可依赖模型。必须建立物理装置和网络系统的相互依赖模型, 其中包括构建定性的物联网交互依赖模型, 构建量化的物联网交互依赖模型, 按照物联网中的物理装置和网络部件属性描述物联网的可依赖性, 验证这种可依赖性模型的正确性。

物联网技术开发中, 需要面临如何构建面向物联网中间件的技术难题。中间件可以减少 50% 的软件开发时间和成本, 由于 CPS 资源的限制、服务质量要求、可靠性要求等, 通用的中间件无法满足 CPS 应用开发的需求<sup>[19]</sup>。但是, 重新开发一个面向 CPS 的中间件似乎难度较大, 现代软件技术的一个基本原则是软件重用。所以, 可以考虑采用面向应用领域的定制方法改造中间件。但是, 改造一种结构复杂的、功能繁琐的通用中间件的成本是否一定小于构建一个结构简单的、功能简洁的专用中间件,

这是需要研究的问题。

物联网技术开发中面临许多挑战, 例如提供安全、实时的数据服务技术<sup>[20]</sup>, 物联网系统的正确性验证技术<sup>[21]</sup>、嵌入式万维网服务开发技术、隐私保护技术<sup>[22]</sup>以及安全控制技术<sup>[23]</sup>等, 这些技术是决定物联网技术能否得到广泛应用的关键技术。

## 5.3 示范系统建设的挑战

建设和部署物联网示范系统, 在社会层面和技术层面都面临较大的挑战<sup>[10]</sup>。物联网系统的典型示范系统, 例如楼宇内部的照明、电表、街道路灯系统等, 都会涉及到较为复杂的基本建设工程和公共设施工程。其次, 消耗最多能源的、具有最大节能潜力的物品通常都是巨大的、昂贵的装置, 改造这些装置面临很大的困难。另外, 建设和部署物联网面临的较为直接的挑战是, 如何让人们愿意使用并且可以维护物联网? 这里不仅存在技术本身的问题, 还存在如何进行培训、教育和普及物联网知识和技术的问题。

构建和部署物联网示范系统的技术层面的挑战包括通信基础设施, 隐私保护和互操作性问题。物联网需要普适联网, 对于公共设施的物联网需要在城市范围建立全覆盖的无线联网基础设施, 而这种设施是无法在短时间建立的。如何经济有效地构建满足物联网需要的联网基础设施? 这在技术上也是一个挑战。

无论是公共设施的物联网, 还是企业专用的物联网, 都需要提供严格的数据保护机制, 否则, 无论是公众, 还是企业都不会接受物联网, 不会使用物联网的相关应用的。从用户角度看, 物联网应该是以用户为核心的网络, 完全可以按照用户的意愿进行控制和操作。如何让用户信任物联网? 这在技术上还是一个很大的挑战。

物联网提供的普适服务依赖于互操作性, 它不仅依赖于网络运营商提供的标准服务质量, 还依赖于跨域的命名、安全性、移动性、多播、定位、路由和管理, 也包括对于提供公共设施的公平补偿。如何形成完整的物联网技术标准并且实现这些标准? 这是一项十分具有挑战的工作。

## 6 结 论

物联网具有以下区别于互联网的特征:

(1) 不同应用领域的专用性, 不同应用领域的物联网, 例如汽车电子领域物联网不同于医疗卫生

领域的物联网, 医疗卫生领域的物联网不同于环境监测领域的物联网, 环境监测领域的物联网不同于仓储物流领域的物联网, 仓储物流领域的物联网不同于楼宇监控领域的物联网。由于不同应用领域具有完全不同的网络应用需求和服务质量要求, 物联网结点大部分都是资源受限的结点, 只有通过专用联网技术才能满足物联网的应用需求。而互联网是通过 TCP/IP 技术互连全球所有的数据传输网络, 虽然可以在较短时间实现了全球信息互连、互通, 但是, 也带来了互联网上难以克服的安全性、移动性和服务质量等一系列问题。物联网的应用特殊性以后其他特征, 使得它无法再复制互联网成功的技术模式。

(2) 高度的稳定性和可靠性, 物联网是与许多关键领域物理设备相关的网络, 必须至少保证该网络是稳定的, 例如在仓储物流应用领域, 物联网必须是稳定的, 不能像现在的互联网一样, 时常网络不通, 时常电子邮件丢失等, 仓储的物联网必须稳定地检测进库和出库的物品, 不能有任何差错。有些物联网需要高可靠性的, 例如医疗卫生的物联网, 必须要求具有很高的可靠性, 保证不会因为由于物联网的误操作而威胁病人的生命。

(3) 严密的安全性和可控性, 物联网的绝大多数应用都涉及到个人隐私或机构内部秘密, 物联网必须提供严密的安全性和可控性。即物联网系统具有保护个人隐私、防御网络攻击的能力, 物联网的个人用户或机构用户可以严密控制物联网中信息采集、传递和查询操作, 不会由于个人隐私或机构秘密的泄露而造成对个人或机构的伤害。

根据以上物联网的特征, 我们提出了对于物联网研究、开发的 3 点建议:

建议 1: 针对物联网不同应用领域的专用性, 就要求研究和开发机构根据各自对于应用领域的理解能力和市场需求, 客观地设定物联网应用领域, 科学地设定物联网研究和开发的目标和内容, 合理地部署物联网研究和开发的资源, 切不可将学术界泛泛讨论的传感器网络作为即将带来人类社会巨大变化的物联网, 误导政府决策和有限科研资源的分配。

建议 2 针对物联网高度的稳定性和可靠性特征, 要求重新研究、设计和开发已有的联网软件和应用软件, 需要在现有的网络软件中引入自动控制领域的控制环路思想和方法, 引入控制的机制和模型, 需要把网络技术与控制技术有机融合, 研究、设计和开发真正面向物联网的高稳定和高可靠的网络连接

和应用的软件系统。不可简单地将现有互联网上的联网软件和应用软件, 直接应用于物联网环境, 对社会造成较大的危害, 从而阻碍物联网技术的应用和普及。

建议 3 针对物联网严密的安全性和可控性特征, 要求制定严格的、面向不同应用领域的物联网安全控制技术规范, 并且设立由政府管理的物联网安全认证机构, 对于实际应用的物联网系统进行严格的安全验证, 防范由于物联网研究、开发或生产机构急功近利而对物联网用户造成危害。

本文在分析物联网相关文献、应用实例的基础上, 初步研究了物联网定义、内涵、体系结构、实现系统以及面临的挑战, 提出了通用的物联网体系结构, 物联网系统模型, 以及如何开展物联网研究和开发的建议。

物联网体系和技术博大精深, 涉及到嵌入式系统、网络系统、控制系统、软件系统、安全系统等多种技术体系, 需要我们长期研究和探索其中的理论和技术问题, 本文仅仅对物联网进行较为初步的研究, 难免存在一些不足, 仅供物联网研究和开发人员参考。

物联网是一项庞大的系统, 是未来十年或更长时间进行设计、部署、实现和完善的系统, 需要分阶段有计划地开展相关的研究和开发工作。只要能够科学决策, 长期、深入、持续地研究和开发物联网理论和技术, 持之以恒, 必能获得成功!

## 参考文献:

- [1] UIT IU Internet Reports 2005 The Internet of Things RJ. 2005.
- [2] SHA Lqi GOPALAKR BHANAN S LU Xue et al Cyber Physical Systems A New Frontier Q // 2008 IEEE International Conference on Sensor Networks Ubiquitous and Trustworthy Computing ( snuc 2008 ). June 2008: 1—9.
- [3] WOLF W. Cyber Physical Systems J. Computer 2009 42( 3 ): 88—89.
- [4] EASWARAN A LEE Insup Compositional schedulability analysis for cyber physical systems J. SIGBED Review 2008 5( 1 ): 11—12.
- [5] TAN Ying GODDARD S PÉREZ L C A prototype architecture for cyber physical systems J. SIGBED Review 2008 5( 1 ): 51—52.
- [6] President's Council of Advisors on Science and Technology Leadership Under Challenge Information Technology R&D in a Competitive World An Assessment of the Federal Networking and Information Technology R&D Program EB/OL. [ 2007-08-30 ]. [http://osp.gov/pdf/nitrd\\_review.pdf](http://osp.gov/pdf/nitrd_review.pdf)
- [7] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络 J. 软件学报, 2003 14

- (7): 1282—1291  
REN Fengyuan HUANG Haining LIN Chuang Wireless sensor network[J]. Journal of Software 2003 14(7): 1282—1291
- [8] YAN Bo HUANG Guangwen Supply chain information transmission based on RFID and internet of things[J] // ISECS International Colloquium on Computing Communication Control and Management 2009 4 166—169
- [9] YAN Bo HUANG Guangwen Application of RFID and Internet of Things in Monitoring and Anti-counterfeiting for Products[J] // Proc of International Seminar on Business and Information Management 2008 1 392—395
- [10] DOLINAR A Deploying the "Internet of things" [J] // International Symposium on Applications and the Internet 2006 216—219
- [11] LIN Jing SEDGH Sahra MILLER Ann A general framework for quantitative modeling of dependability in CyberPhysical Systems: a proposal for doctoral research [J] // Proc of 33rd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference 2009 668—671.
- [12] FREDERICK J Internet of Things and radio frequency identification in care taking: facts and privacy challenges [J] // Proc of 1st International Conference on Wireless Communication Vehicular Technology Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology 2009 319—323
- [13] DUQUENNOY S GR MAUD J J G Vandewalle Snew S Smart and Mobile Embedded Web Server [J] // International Conference on Complex Intelligent and Software Intensive Systems 2009 571—576
- [14] FUJOLLE G An autonomous-oriented architecture for the Internet of Things [J] // IEEE John Vincent Atanasoff 2006 International Symposium on Modern Computing 2006 163—168
- [15] ARMEND F BARTHEL H DETRICH P et al The EPC Global Architecture Framework EB/OL. [ 2009-03-19]. <http://www.epcglobalinc.org/>
- [16] LEE E A Cyber Physical Systems design challenges [J] // 11th IEEE Symposium on Object Oriented Real Time Distributed Computing (ISORC). 2008 363—369
- [17] ABDELZAHER T Research Challenges in Distributed CyberPhysical Systems [J] // Proc of IEEE/FP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing December 2008 5
- [18] TAN Ying VURAN M Ç GODDARD S Spatial temporal event model for CyberPhysical Systems [J] // Proc of 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops 2009 44—50.
- [19] DABHOLKAR A GOKHALE A An approach to middleware specialization for CyberPhysical Systems [J] // Proc of 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops 2009 73—79.
- [20] KANG Kyoungdon SON S H Real time data services for Cyber Physical Systems [J] // Proc of the 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops 2008 483—488
- [21] AKELLA R MCMILLIN B M Model Checking BNDC Properties in Cyber Physical Systems [J] // Proc of 33rd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference 2009 660—663
- [22] OLESHCHUK V Internet of things and privacy preserving technologies [J] // Proc of 1st International Conference on Wireless Communication Vehicular Technology Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology 2009 336—340.
- [23] de LEUSSE P PERDRELLIS P DIMIRAKOS T et al Self Managed Security Cell: a Security Model for the Internet of Things and Services [J] // Proc of First International Conference on Advances in Future Internet 2009 47—52

### 作者简介:



沈苏彬 (1963—), 男, 江苏南京人。南京邮电大学软件学院研究员, 博士生导师。1984年在南京工学院 (现东南大学) 计算机应用专业获工学学士学位, 1989年在东南大学计算机应用专业获工学硕士学位, 2000年在东南大学获博士学位。目前主要从事计算网络, 下一代电信网以及网络安全的研究。

范曲立 (1974—), 男, 江苏无锡人。南京邮电大学信息材料与纳米技术研究院副院长, 江苏省有机电子与信息显示重点实验室副主任, 教授, 博士生导师。2003年在新加坡国立大学获博士学位。主要研究方向为有机电子材料, 有机/无机杂化材料。

宗平 (1956—), 男, 江苏南京人。南京邮电大学软件学院教授。主要研究领域是智能数据处理、计算机网络、软件工程。

毛燕琴 (1981—), 女, 江西南昌人。南京邮电大学软件学院讲师。主要研究领域是计算机网络, 网络安全。

黄维 (1963—), 男, 河北唐山人。南京邮电大学副校长, 教授, 博士生导师。国家重点基础研究发展计划 (973计划) 首席科学家。(见本刊 2008 年第 4 期第 96 页)