

物联网关键技术与应用

刘 强 崔 莉 陈海明

(中国科学院计算技术研究所 北京 100190)

摘 要 物联网因其巨大的应用前景而受到各国政府、学术界和工业界的广泛重视。介绍了物联网的概念、基本属性和特征,描述了物联网的体系构成、发展阶段及趋势。以传感器网络为例详细论述了物联网的关键技术,最后以环境监测为例,说明了物联网的典型应用。

关键词 物联网,传感器网络,RFID,体系结构

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Key Technologies and Applications of Internet of Things

LIU Qiang CUI Li CHEN Hai-ming

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract The internet of things (IoT) has been paid more and more attention by the government, academe and industry all over the world. This paper introduced the concept of IoT, the basic characteristics and attributes. It also described the system structure, development phases and the future trend. The key technologies of IoT were discussed taking the wireless sensor network as an example. The application of IoT was illustrated by its typical use in environment monitoring.

Keywords Internet of things, Sensor networks, RFID, System structure

1 物联网及其体系结构

1.1 概念

物联网被称为继计算机、互联网之后,世界信息产业的第三次浪潮。目前多个国家都在花巨资进行深入研究,物联网是由多项信息技术融合而成的新型技术体系。

“物联网”的概念于 1999 年由麻省理工学院的 Auto-ID 实验室提出^[1],将书籍、鞋、汽车部件等物体装上微小的识别装置,就可以时刻知道物体的位置、状态等信息,实现智能管理。Auto-ID 的概念以无线传感器网络和射频识别技术为支撑。1999 年在美国召开的移动计算和网络国际会议 Mobi-Com1999 上提出了传感网(智能尘埃)是下一个世纪人类面临的又一个发展机遇^[2]。同年,麻省理工学院的 Gershenfeld Neil 教授撰写了“*When Things Start to Think*”一书^[3],以这些为标志开始了物联网的发展。

2005 年 11 月 17 日,在突尼斯举行的信息社会世界峰会(W SIS)上,国际电信联盟(ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005:物联网》,正式提出了“物联网”的概念^[4]。报告指出:无所不在的“物联网”通信时代即将来临,世界上所有的物体都可以通过互联网主动进行信息交换。射频识别技术(RFID)、无线传感器网络技术(WSN)、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用。2006 年 3 月,欧盟召开会议“From RFID to the Internet of Things”,对物联网做了进一步的描述^[5],并

于 2009 年制定了物联网研究策略的路线图^[6]。2008 年起,已经发展为世界范围内多个研究机构组成的 Auto-ID 联合实验室组织了“Internet of Things”国际年会。2009 年,IBM 首席执行官 Samuel J. Palmisano 提出了“智慧地球”(Smart-Planet)的概念,把传感器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种应用中,并且通过智能处理,达到智慧状态^[7]。

可以认为,“物联网”(Internet of Things)是指将各种信息传感设备及系统,如传感器网络、射频标签阅读装置、条码与二维码设备、全球定位系统和其它基于物-物通信模式(M2M)的短距无线自组织网络,通过各种接入网与互联网结合起来而形成的一个巨大智能网络。如果说互联网实现了人与人之间的交流,那么物联网可以实现人与物体的沟通和对话,也可以实现物体与物体互相间的连接和交互。物联网的概念模型如图 1 所示。

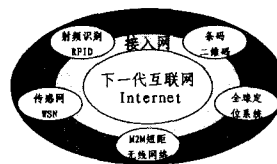


图 1 物联网概念模型

2010 年 3 月召开的全国两会上,政府工作报告中明确指出利用物联网技术推动经济发展方式的转变,物联网成为国

本文受国家重点基础研究发展计划项目(2006CB303001),国家科技重大专项(2009ZX03006-001),中国科学院-裘槎基金会联合实验室基金计划项目“Heterogeneous Peer-to-Peer Networks”以及中国科学院对外合作重点项目(GJHZ200819)资助。

刘 强(1971-),男,副研究员,主要研究方向为传感器网络、短距无线通信;崔 莉(1962-),女,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为传感器技术、无线传感器网络;陈海明(1981-),男,博士生,主要研究方向为传感器网络、无线网络。

家经济技术发展的战略支柱之一^[8]。

1.2 基本属性及特征

从以上我们对物联网的理解可以看出,物联网是互联网向物理世界的延伸和拓展,互联网可以作为传输物联网信息的重要途径之一,而传感器网络基于自组织网络方式^[9],属于物联网中一类重要的感知技术。

物联网具有其基本属性,实现了任何物体、任何人在任何时间、任何地点,使用任何路径/网络以及任何设备的连接。因此,物联网的相关属性包括集中、内容、收集、计算、通信以及场景的连通性。这些属性表现的是人们与物体之间或者物体与物体之间的无缝连接,上述属性之间的关系如图 2 所示^[6]。

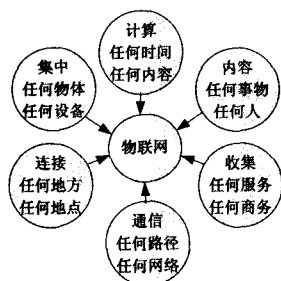


图 2 物联网基本属性^[6]

物联网中的物体根据其具有的能力发挥作用,这些能力包括计算处理、网络连接、可用的电能等,还包括场景情况(如时间和空间)等影响因素。根据物联网组成部分的特性、作用以及包含关系,其特征包含下面 5 个部分^[6]:

1) 基本功能特征

- 物体可以是真实世界的实体或虚拟物体;
- 物体具有标识,可以通过标识自动识别它们;
- 物体是环境安全、可靠的;
- 物体以及其虚拟表示对与其交互其它的物体或人们是私密的、安全的;
- 物体使用协议与其它物体或物联网基础设施进行通信;
- 物体在真实的物理世界与数字虚拟世界间交换信息。

2) 物体通用特征(高于基本功能特征)

- 物体使用“服务”作为与其它物体联系的接口;
- 物体在资源、服务、可选择的感知对象方面与其它物体竞争;
- 物体附加有传感器,能够与环境交互。

3) 社会特征

- 物体与其它物体、计算设备以及人们进行通信;
- 物体能够相互协作创建组或网络;
- 物体能够初始化交互。

4) 自治特征

- 物体的很多任务能够自动完成;
- 物体能够协商、理解和适应其所在的环境;
- 物体能够解析所在环境的模式,或者从其它物体处学习;
- 物体能够基于其推理能力做出判断;
- 物体能够选择性地演进和传播信息。

5) 自我复制和控制特征

- 物体能够创建、管理和毁灭其它物体。

综上所述,物联网以互联网为平台,将传感器节点、射频标签等具有感知功能的信息网络整合起来,实现人类社会与物理系统的互联互通。将这种新一代的信息技术充分运用在各行各业之中,可以实现以更加精细和动态的方式管理生产和生活,提高资源利用率和生产力水平,改善人与自然间的关系。

1.3 体系构成

根据国际电信联盟的建议,物联网自底向上可以分为以下的过程^[11]:

感知:该层的主要功能是通过各种类型的传感器对物质属性、环境状态、行为态势等静态/动态的信息进行大规模、分布式的信息获取与状态辨识,针对具体感知任务,常采用协同处理的方式对多种类、多角度、多尺度的信息进行在线计算与控制,并通过接入设备将获取的信息与网络中的其它单元进行资源共享与交互。

接入:该层的主要功能是通过现有的移动通信网(如 GSM 网、TD-SCDMA 网)、无线接入网(如 WiMAX)、无线局域网(WiFi)、卫星网等基础设施,将来自感知层的信息传送到互联网中。

互联网:该层的主要功能是以 IPv6/IPv4 以及后 IP(Post-IP)为核心建立的互联网平台,将网络内的信息资源整合成一个可以互联互通的大型智能网络,为上层服务管理和大规模行业应用建立起一个高效、可靠、可信的基础设施平台。

服务管理:该层的主要功能是通过具有超级计算能力的中心计算机群,对网络内的海量信息进行实时的管理和控制,并为上层应用提供一个良好的用户接口。

应用:该层的主要功能是集成系统底层的功能,构建起面向各类行业的实际应用,如生态环境与自然灾害监测、智能交通、文物保护与文化传播、远程医疗与健康监护等。

基于目前物联网的发展现状,特别是针对传感器网络的技术复杂性和非成熟性,深入开展传感网的核心技术研究。预计未来将进一步推进芯片设计、传感器、射频识别等技术的发展,在此基础上逐步开展感知层的网络(核心为传感器网络)与后 IP 网络的整合,扩展服务管理层的信息资源并探索商业模式,并以若干个典型示范应用为基础推进物联网在各个行业的应用。同时,在各个层面开展相关标准的制定。

1.4 发展阶段和未来趋势

IBM 前首席执行官 Louis V. Gerstner 曾提出一个重要的观点,认为计算模式每隔 15 年发生一次变革。这一判断像摩尔定律一样准确,人们把它称为“十五年周期定律”。1965 年前后发生的变革以大型机为标志,1980 年前后以个人计算机的普及为标志,而 1995 年前后则发生了互联网革命。可以预见,在 2010 年前后则会发生一场以“物联网”为标志的新技术和经济革命。

目前,美国、欧盟、中国、日本和韩国等都在投入巨资深入研究探索物联网。我国也高度关注重视物联网的研究^[12],工业和信息化部正在会同有关部门在新一代信息技术方面开展研究,以形成支持新一代信息技术发展的政策措施。我国的《国家中长期科学与技术发展规划(2006-2020 年)》和“新一代宽带移动无线通信网”重大专项中均将传感器网络列入重点研究领域。

作为一个新兴产业,物联网从诞生到广泛应用需要经历四个阶段:第一阶段为设想阶段,这个时期为产业发展的最初期。第二阶段为技术研发阶段,美国、欧盟等都在投入大量资源深入研究物联网。我国在 1999 年就启动了物联网核心技术无线传感器网络的研究,国家投入大规模资金用于物联网研发。第三阶段为实验阶段,在技术研发的水平达到一定程度时,就可以进行小范围的试用和检测,这是从理论走向实践的一步。目前一些企业已开始尝试物联网商用,如 IBM 公司的“智慧地球”。在商用领域我国相关企业也开始了探索,在 2009 中国国际信息通信展览会上,中国移动、电信和联通三大电信运营商开始尝试物联网业务,比如中国移动的手机钱包和手机购电业务。该业务也可以应用于超市、餐厅等小额支付场合;中国联通的无线环保检测平台通过 3G 网络,可实时对水表、灌溉、水文、水质等动态数据进行监测,又可对空气质量、碳排放和噪音进行监测。第四阶段为全面推广阶段,也是投入资金最大的时期。同时,一旦大规模商用,大量基础设施的建设和终端产品的全面推广必将推动电信、信息存储处理、IT 服务整体解决方案等众多相关市场的发展。

在物联网普及以后,用于动物、植物和机器、物品的传感器与电子标签及配套的接口装置的数量将远远超过手机的数量。物联网的推广将会成为推进经济发展的重要领域,美国权威咨询机构 Forester 预测,到 2020 年,世界上物物互联的业务,跟人与人通信的业务相比,将达到 30 比 1,因此,“物联网”被称为是下一个万亿级的通信业务^[13]。

2 传感器网络关键技术

物联网由传感器网络、射频标签阅读装置、条码与二维码等设备以及互联网等组成。当前各项技术发展并不均衡,射频标签、条码与二维码等技术已经非常成熟,传感器网络相关技术尚有很大发展空间,本文以传感器网络为例,分析其中涉及的关键技术,其结构如图 3 所示。传感器网络中所包含的关键内容和关键技术主要有数据采集、信号处理、协议、管理、安全、网络接入、设计验证、智能信息处理和信息融合以及支撑和应用等方面。



图 3 物联网关键技术结构图

2.1 智能感知技术

数据采集是物联网实现“物物相联,人物互动”的基础。采集设备一般拥有 MCU 控制器;由于低成本限制,因此一般采用嵌入式系统,物联网的规范要求整个终端设备必须是智能的,因此信息采集设备一般都有操作系统。为了获得各种客观世界的物理量,如温度、湿度、光照度等等,传感器技术也

是数据采集技术中的重要一支。因此,物联网的数据采集技术包括传感器技术、嵌入式系统技术、采集设备以及核心芯片。

一些典型的物联网硬件如图 4 所示。

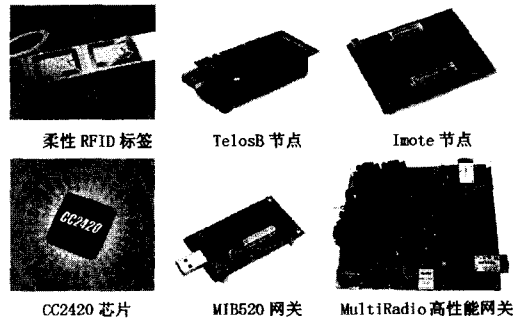


图 4 物联网相关设备和器件

2.2 智能信号处理技术

智能信号处理将对采集设备获得的各种原始数据进行必要的处理,以获得与目标事物相关的信息。首先获得各种物理量的量测值,即原始信号。之后通过信号提取技术筛选有用信号,通过调理提高信号的信噪比;高信噪比的信号通过各类信号变换,在映射空间上可以进行信号的特征提取;借助于信号分析技术,如特征对比、分类技术,可以将各种特征信号对应到某一类的物理事件。

这里的“信号处理”含义包括信号抗干扰、信号分离以及信号滤波等技术。这些技术有两种实现方式:节点上实现和基站上实现。前者是值得推荐的,其优点是具有实时性,减少了不必要的数据流量和传输过程中能量的消耗。但是由于节点资源有限,在节点上实现将面临要求低算法复杂度的挑战,而在资源丰富的基站(如服务器)上实现则能进行较复杂的信号处理,还可以进行分类学习或模式识别,信号处理效果会更好,而面临的困难则是如何减少网内数据流量以及传输过程中的能量消耗,并尽可能降低由服务器而增加的网络成本。

因此,在物联网的信号处理技术中,以多物理量检测、信号提取、信号调理、信号变换、信号分析为核心关键技术。图 4 中的 CC2420 是 TI 推出的第二代物联网射频芯片,具有数字调制解调等功能,通过数字信号处理技术提高了芯片的一致性。

2.3 优化高效的协议栈

为了实现物联网的普适性,终端感知网络需要具有多样性,而这种多样性是通过 MAC 协议来保证的。由于终端感知节点并不是固定组网,为了完成不同的感知任务,实现各种目标,节点组网技术必不可少。终端感知设备之间的通信不能采用传统的资源充分设备的通信协议,因此需要自适应优化网络协议。同时终端设备的低处理能力、低功耗等特性,决定了必须采用轻量级和高能效的协议。最后,为了实现一个统一的目标,必须在上述各种协议技术之间进行取舍,因此网络跨层优化技术也是必需的。

对于物联网而言,无线通信方式是多级的,其系统复杂性和成本开销就会很大,这就需要对协议进行优化以保证其低功耗和高能效。由此,自适应的优化通信协议设计就变得很重要,其挑战在于需要考虑数据融合、分簇和路由选择等优化问题,并尽可能减少数据通信量和重复传送。

所以,物联网的协议栈中,以 MAC 协议、组网技术、网络

跨层能量优化、自适应优化通信协议、轻量级和高能效协议为重点。图4中所示的Crossbow公司的TelosB节点可以安装TinyOS系统以及相关的协议。图4中还有Crossbow的Imote节点,该节点具有较强的处理能力,基于XScale PXA271的CPU可以安装嵌入式Linux系统以及TinyOS系统和协议。

2.4 管理

由于终端感知网络的节点众多,因此必须引入节点管理对多个节点进行操作。其中包括以使终端感知网络寿命最大化为目标的能量管理,以确保覆盖性及连通性为目标的拓扑管理,以保证网络服务质量为目标的QoS管理及移动控制,以实现异地管理为目标的远程管理技术,同时包括存储配置参数的数据库管理等。

作为物联网应用不可或缺的组成部分,数据库负责存储由WSN或RFID收集到的感知数据,所用到的数据库管理系统(DBMS)可选择大型分布式数据库管理系统(如DB2, Oracle, Sybase和SQL Server)。管理系统能够将已存储的数据进行可视化显示、数据管理(包括数据的添加、修改、删除和查询操作)以及进一步分析和处理(生成决策和数据挖掘等)。

综上所述,物联网的节点管理包括能量管理、拓扑管理、QoS管理、移动控制、网络远程管理以及数据库管理等方面。

2.5 安全

由于物联网终端感知网络的私有特性,因此安全也是一个必须面对的问题。物联网中的传感节点通常需要部署在无人值守、不可控制的环境中,除了受到一般无线网络所面临的信息泄露、信息篡改、重放攻击、拒绝服务等多种威胁外,还面临传感节点容易被攻击者获取,通过物理手段获取存储在节点中的所有信息,从而侵入网络、控制网络的威胁。涉及到安全的主要有程序内容、运行使用、信息传输等方面。

从安全技术角度来看,相关技术包括以确保使用者身份安全为核心的认证技术,确保安全传输的密钥建立及分发机制,以及确保数据自身安全的数据加密、数据安全协议等数据安全技术。因此在物联网安全领域,数据安全协议、密钥建立及分发机制、数据加密算法设计以及认证技术是关键部分。

2.6 网络接入

物联网以终端感知网络为触角,以运行在大型服务器上的程序为大脑,实现对客观世界的有效感知以及有利控制。其中连接终端感知网络与服务器的桥梁便是各类网络接入技术,包括GSM, TD-SCDMA等蜂窝网络, WLAN, WPAN等专用无线网络, Internet等各种网络。物联网的网络接入是通过网关来完成的,图4中的MultiRadio高性能网关由中科院计算所传感器网络实验室开发,可同时支持两个嵌入式WiFi模块的操作。

2.7 设计验证

在物联网系统的设计验证中,包括设计、仿真、试验床验证与检验检测等关键内容。可以对物联网的硬件设备、软件、协议等进行分析验证,以及进行实际系统部署前的检验,这对物联网研究和应用具有重要的意义。

作为物联网重要组成部分的传感器网络不仅节点规模大,网络所应用的地域规模也很大。传感器网络与Internet网络的融合构成物联网。因此如何能够反映出大规模异构网络环境(有线网络、无线网络,以及各种无线传感器网络等),

并对各种网络应用具有扩展性,成为设计验证平台需要考虑的问题。国内外对于测试平台搭建技术的研究还处于初始阶段,现有的一些如MoteWorks, EmStar, Kansei和MoteLab等传感器网络试验床验证平台,均支持网络测试的功能,具有不同的侧重点。MoteLab是哈佛大学开发的一种无线传感器网络测试平台,由传感器节点网络和中心服务器两部分组成,采用Web方式, MoteLab对于测试评估的方法考虑较少,如对能量的测试目前只是通过在一个节点上连接万用表测电压的方法实现。俄亥俄州立大学开发的Kansei平台是面向多种应用的针对无线传感器网络的测试平台。Kansei平台在设计上充分考虑了对大规模应用环境的支持以及对各种应用背景的通用化和可扩展性的要求。从结构上划分, Kansei平台由静止网络、移动网络和便携网络三部分组成。静止网络和移动网络共同构成了Kansei系统中的测试通用平台部分,部署在实验室环境中。便携网络则根据测试应用类型选择相应的传感器,部署到实际的测试环境中进行数据采集。目前Kansei平台还处于开发过程中,如系统访问控制等功能并没有完全实现,混合模拟仿真方法的效果也有待进一步验证。

中科院计算所也正在部署物联网综合验证系统,包括EasiSim用于仿真分析, EasiTest作为物联网试验床, EasiDesign用于物联网设计, EasiView作为物联网实时监控系, 这些子系统都支持面向Web的访问方式。

2.8 信息处理及信息融合

由于物联网具有明显的“智能性”的要求和特征,而智能信息处理是保障这一特性的共性关键技术,因此智能信息处理的相关关键技术和研究基础对于物联网的发展具有重要的作用。

信息融合是智能信息处理的重要阶段和方式,信息融合是一个多级的、多方面的、将来自传感网中多个数据源(或多个传感器)的数据进行处理的过程。它能够获得比单一传感器更高的准确率,更有效和更易理解的推论。同时,它又是一个包含将来自不同节点数据进行联合处理的方法和工具的架构。因此,在感知、接入、互联网和应用层均需要采用此技术手段。

2.9 智能交互及协同感知

物联网中的智能交互主要体现在情景感知关键技术上,能够解释感知的物理信号和生物化学信号,对外界不同事件做出决策以及调整自身的监控行为,因此已成为物联网应用系统中不可或缺的一部分。同时,情景感知能让物联网中的一些数据以低能耗方式在本地资源受限的传感器节点上处理,从而让整个网络的能耗和通信带宽最小化。

协同感知技术也是物联网的研究热点。一种物理现象一般是由多种因素引起的,同时位于不同时空位置的感知设备观测到的信息具有互补性,因此必须将多个感知节点的数据综合起来,所以协同感知机制非常重要。

2.10 支撑与应用

物联网以终端感知网络为触角,深入物理世界的每一个角落,获得客观世界的各种测量数据。同时物联网战略最终是为人服务的,它将获得的各种物理量进行综合、分析,并根据自身智能合理优化人类的生产生活活动。

物联网的支撑设备包括高性能计算平台、海量存储以及
(下转第10页)

- [38] Wu Xiao, Hauptmann A G, Ngo C-W. Novelty and redundancy detection with multimodalities in cross-lingual broadcast domain [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 418-431
- [39] Lee V C S, Wu Xiao, Ng J K-Y. Scheduling real-time requests in on-demand data broadcast environments[J]. Real-Time Systems Journal, 2006, 34(2):83-99
- [40] Wu Xiao, Hauptmann A G, Ngo C-W. Novelty detection for cross-lingual news stories with visual duplicates and speech transcripts[C]// Proceedings of the 15th International Conference on Multimedia (ACM MM2007). Augsburg, Germany, September 2007:168-177

- [41] Zheng Y-T, Neo S-Y, et al. Fast near-duplicate keyframe detection in large-scale video corpus for video search[C]// International Workshop on Advanced Image Technology 2007 (IWAIT 2007). Bangkok, Thailand, January 2007
- [42] Zheng Y-T, Neo S-Y, et al. The Use of Temporal, Semantic and visual partitioning model for efficient near duplicate detection in large scale news corpus[C]// International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR2007). Amsterdam, The Netherlands, July 2007:409-416

(上接第4页)

管理系统及数据库等。通过这些设施,能够支撑物联网海量信息的处理、存储、管理等工作。

物联网的应用需要智能化信息处理技术的支撑,主要需针对大量的数据通过深层次的数据挖掘,并结合特定行业的知识和前期科学成果,建立针对各种应用的专家系统、预测模型、内容和人机交互服务。专家系统利用业已成熟的某领域专家知识库,从终端获得数据,比对专家知识,从而解决某类特定的专业问题。预测模型和内容服务等基于物联网提供的对物理世界精确、全面的信息,可以对物理世界的规律(如洪水、地震、蓝藻)进行更加深入的认识和掌握,以做出准确的预测预警,以及应急联动管理。人机交互与服务也体现了物联网“为人类服务”的宗旨。人机交互提供了人与物理世界的互动接口。物联网能够为人类提供的各种便利也体现在服务之中。

3 物联网典型应用

下面以环境监测为例说明物联网的应用系统。环境监测是物联网的一个重要应用领域,物联网自动、智能的特点非常适合环境信息的监测。一般来讲,环境监测物联网系统结构包括以下几个部分:

感知层:该层的主要功能是通过传感器节点等感知设备,获取环境监测的信息,如温度、湿度、光照度等。由于环境监测需要感知的地理范围比较大,所包含的信息量也比较大,该层中的设备需要通过无线传感器网络技术组成一个自治网络,采用协同工作的方式,提取出有用的信息,并通过接入设备与互联网中的其它设备实现资源共享与交流互通。

接入层:该层的主要功能是通过现有的公用通信网(如有线 Internet 网络、WLAN 网络、GSM 网、TD-SCDMA 网)、卫星网等基础设施,将来自感知层的信息传送到互联网中。

互联网层:该层的主要功能是以 IPv6/IPv4 为核心建立的互联网平台,将网络内的信息资源整合成一个可以互联互通的大型智能网络,为上层服务管理和大规模环境监测应用建立起一个高效、可靠、可信的基础设施平台。

服务管理:该层的主要功能是通过大型的中心计算平台(如高性能并行计算平台等),对网络内的环境监测获取的海量信息进行实时的管理和控制,并为上层应用提供一个良好的用户接口。

应用:该层的主要功能是集成系统底层的功能,构建起面

向环境监测的行业实际应用,如生态环境与自然灾害实时监测、趋势预测、预警及应急联动等。

通过上面几个部分,环境监测物联网就可以实现协同感知环境信息,进行态势分析,并预测发展趋势。

结束语 物联网是由各种技术融合而成的新型技术体系。物联网在多种应用中具有潜在、显著的技术价值和应用需求,物联网的发展必将推动物物相联、人物互动的信息化社会建设。影响物联网大规模应用的关键问题是技术繁多,而且需要互联互通,因此物联网具有巨大的深入发展和提升的空间。

参考文献

- [1] <http://www.autoidlabs.org/page.html>
- [2] Kahn J M, Katz R H, Pister K S J. Next century challenges: mobile networking for “Smart Dust”[C]// Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MobiCom1999). August 1999
- [3] Neil G. When Things Start to Think[M]. New York: Henry Holt, 1999
- [4] ITU Strategy and Policy Unit (SPU). ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R]. Geneva: International Telecommunication Union (ITU), 2005
- [5] Buckley J. From RFID to the Internet of Things—Pervasive networked systems[R]. Brussels: European Commission, DG Information Society and Media, Networks and Communication Technologies Directorate, 2006
- [6] http://ec.europa.eu/information_society/policy/rfid/documents/in_cerp.pdf
- [7] <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/>
- [8] <http://space.tv.cctv.com/video/VIDE1268482063865885>
- [9] 崔莉, 鞠海玲, 苗勇, 等. 传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(1):163-174
- [10] http://www.itu.int/net/TELECOM/World/2009/newsroom/speeches/wang20091005_oc.aspx
- [11] ITU NGN-GSI Rapporteur Group. Requirements for support of USN applications and services in NGN environment[R]. Geneva: International Telecommunication Union (ITU), 2007
- [12] http://news.xinhuanet.com/mrdx/2009-09/11/content_12035797.htm
- [13] <http://www.rfidchina.org/readinfos-37143-177.html>