

文章编号 2095-1531(2014)06-0889-08

光通信技术在物联网中的应用

杨秀清*, 陈海燕
(北京电子科技职业学院, 北京 100029)

摘要:介绍了物联网的定义及结构;从感知层和网络层角度,探讨了光通信技术(光纤通信和无线通信)在物联网中的应用现状和前景。光纤通信、近距离无线通信、移动通信是物联网开发的基础,制定物联网各个层面上统一的、标准化协议和技术标准是物联网未来发展必须解决的关键和难点。

关键词:光纤通信技术;无线通信技术;物联网

中图分类号:TN913.7; TN92 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/CO.20140706.0889

Application of optical communication technique in the Internet of Things

YANG Xiu-qing*, CHEN Hai-yan
(Beijing Polytechnic, Beijing 100029, China)
* Corresponding author, E-mail: yangxql@163.com

Abstract: The definition and structure of Internet of Things are introduced. The application and prospection of optical communication technique(optical fiber and wireless communications) in internet of things are discussed from perceiving and network direction. The optical fiber communication, near field wireless communication and mobile communication are a basis for development of Internet of Thing. Uniform and standardized treaty and technical standard must be established to solve critical and difficult problems in the future development.

Key words: optical fiber communication technique; wireless communication technique; Internet of Things

收稿日期:2014-08-21;修订日期:2014-10-23

基金项目:北京电子科技职业学院重点课题资助项目(No. YZK2012005)

1 引言

物联网(Internet of Things)^[1]概念最早由美国麻省理工学院自动标识中心(MIT Auto-ID Center)在1999年提出的。2009年IBM首席执行官彭明盛(Samuel Palmisano)首次提出了“智慧地球”(Smarter Planet)的概念,此概念一经提出,即得到美国各界的高度关注,“智慧地球”有望成为又一个“信息高速公路”计划,掀起以物联网为核心的科技和经济浪潮。2009年8月,“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,同年11月,中国移动与无锡市市政府签订了推进“TD-SCDMA与物联网融合”合作框架协议,贴有“中国式”标签的物联网的规模化研究从此拉开序幕。

目前,国际通用的物联网的定义是:通过射频识别、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。今后的物联网旨在建立一个集传感网、通信网和互联网的庞大的异构网络,通过无处不在的网络感知,达到世界上物与物、人与物、人与自然之间的任意时间、任意地点的连接和信息交换^[2]。

光通信技术主要指有线通信(即光纤通信)和无线通信技术,具有高度的创造性、渗透性和带动性^[3-6],将其作为全覆盖的接入手段,与物联网相结合,将会在工业、农业、军事、环境、医疗等传统领域以及家用、保健、交通等新领域带来巨大的应用价值与优越性。当前,我国光通信技术发展已较成熟,具有移动接入能力的物联网终端也在不断研究和开发中,将光通信技术应用于物联网中,既能够远距离对物联网进行测控、维护、管理和运营,又可以通过灵活价廉的终端设备通信手段,把通信的触角延伸到世界的每一个角落,进一步推动光通信技术在物联网中的应用和深化。

目前,在物联网中应用了多种模式的光通信技术,包括(1)光纤传感;(2)射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)、无线传感网

(Wireless Sensor Network, WSN)、WiFi等近距离无线光通信技术;(3)GPRS、3G、4G移动通信技术等长距离无线通信技术。未来移动通信网的发展也会以推进物联网的发展与应用为目标,目前各大移动通信运营商已积极主动参与到物联网的整个产业链发展中,推动物联网与移动网结合,物联网的功能和价值在与近距离通信技术、无线网络、移动终端设备结合中被充分体现出来。

虽然物联网技术还不成熟,功能范围和结构组成众说不一,但物联网和光通信技术、无线通信网络的结合应用必定会是未来的发展趋势,未来的物联网将以光通信技术为基础的无线物联网。以下将对光通信技术在物联网中的应用现状和前景做探讨。

2 物联网的基本结构

物联网采用分层结构模型,即物联网由感知层、网络层和应用层构成,如图1所示,三层的物联网架构模型较符合人们对物联网的预期要求,物联网在每一个层面上,都将会有的很多种选择^[7]。

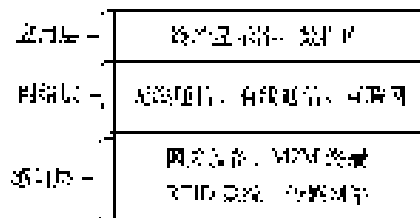


图1 物联网的分层结构

Fig. 1 Hierarchical structure of Internet of things

感知层是物联网组织的最底层组织,是物联网的基础,主要完成物的数据信息感知和采集的功能,感知层一般包括RFID系统、传感器网络、网关、M2M终端等,通过RFID电子标签、传感器、M2M终端实现物品信息的采集。

网络层处于物联网感知层和应用层中间,具有长距离传输和数据信息管理的功能,主要将感知层采集到的物的数据信息传输给物联网的应用层,网络层包含多种通信网络,主要包括GPRS、

3G、4G 移动通信网络、互联网、卫星网络和有线通信网络等。

应用层属于物联网的最上层,完成感知层所采集到的信息数据的应用和处理。

3 光通信技术在物联网感知层的应用现状

3.1 光纤传感技术在物联网感知层的应用

传感器能感知周围环境的实时变化,所以在和环境监测有关的物联网中,感知层采用了无线传感网络。

光纤传感技术是伴随着光导纤维及光纤通信技术的发展而迅速发展起来的一种以光为载体,光纤为媒质的传输外界信号的新型传感技术,它属于光子与承载信息传输的导波光技术的一个领域^[8]。

光纤传感技术的基本原理在于光波在光纤中传播时,光波的振幅、相位、偏振态、波长等特征参量会随温度、压力、位移、电磁场、转动等外界因素的变化而变化,从而感测外界物理量的变化,光纤传感器工作过程是将来自光源的光经过光纤送入起到传感作用的调制器,经待测物理量参数的影响(调制)后光的特征参量将发生变化,成为被调制的信号光,再经过光纤送入光电探测器,进行光电转换和解调,获得被测物理量,比如利用光纤的偏振特性,通过测量光纤中的法拉第旋转角间接地测量电流,如果传感器的传光与传感部分都用光纤则为功能型光纤传感器,这种传感器非常适于构成分布式传感网络。光纤传感器与传统传感器相比具有更高的检测灵敏度,由于传感与传输采用的都是光信号,完全不受电磁干扰和其它辐射影响,可用于高压、高温,电磁干扰等恶劣环境,同时光纤材质重量轻、体积小,具有很好的柔性和韧性,可以将光纤传感器根据检测需要制成任意形状,同时随着对光纤传感器的研究,人们发现通过对光纤光栅进行特殊处理,可制成探测各种化学物质的光纤光栅化学和生物化学传感器,这样使得光纤传感器在各行业有着广泛的应用范围。光纤传感技术与光纤通信技术相结合,实现

传感系统的网络化和阵列化是光纤传感技术的重要发展方向,通过对光纤传感器和常规通信光缆的熔接,形成传输传感两种功能实时在线特征和优势,同时光纤具有宽带特性,可将各种传感器复用于一根光纤,可同时进行多目标测量,可见光纤传感技术在物联网感知层的应用具有独特的优势。

3.2 无线光通信技术在物联网感知层的应用

在物联网中的各个层面都不可缺少无线通信技术的应用,近距离无线通信技术的发展和完善,使得物联网在感知层的信息通信有了技术上的可靠保证^[9]。在物联网中传感网是连接物理世界与信息世界的关键,传感网将会成为物联网的“最后一公里”,现有接入技术中只有无线通信网络能帮助传感网实现无所不在的接入。

无线光通信技术是光通信技术和无线通信技术相结合的产物,由于光波的频率比无线电波的频率高,波长比无线电波的波长短。因此无线光通信带宽是 WiFi 的 10^4 倍,4G 移动通信的 100 倍,信息传输速率为 $10 \sim 155$ Mbit/s,支持任何一种协议传输,满足短距离和长距离无线通信应用,可以解决各种业务高速接入的“最后一公里”问题,随着无线光通信技术的应用,未来可以在物品中嵌入含有无线路由器、通信基站、WiFi 接入功能的无线光通信装置芯片,物品便具有高速无线接入的功能,无论在日常生活、工程施工场所和任何恶劣的环境下,只要有光源就可以通信。无线光通信网络作为无线传感网汇聚信息的传输通道更接近物联网在任何时间、任何地点、任何人、任何物都能顺畅地通信的泛在网目标,将成为物联网所采用的主要无线通信技术之一,同时对于传统的电信网络运营商来讲,无线光通信网络系统可以作为其光缆传输系统的补充和基站间的互联与回传链路。

3.2.1 无线通信技术在 RFID 系统中的应用

(1) 读写器与电子标签之间的近距离无线通信

RFID 系统主要由电子标签、天线、读写器和 RFID 中间件、后台应用系统组成。附在目标物品上的电子标签存储着物品唯一的数据信息。读写

器与电子标签之间通过短距离无线通信方式进行联系。

电子标签分为无源、有源两种。有源标签自身带有电池供电,但需要更换标签中电池,成本高。目前市场上电子标签一般以无源电子标签为主,而无源电子标签读写无线信号覆盖范围较短。因此提高 RFID 系统的感应能力,扩大 RFID 系统的覆盖能力是亟待解决的问题。

目前 RFID 系统主要采用以电气和电子工程师协会 IEEE 802.15.4 为代表的近距离通信技术^[10],工作在 2.4 GHz 频率,2.4 GHz 属于工业科学医疗 (ISM) 频段,是全世界都可通用免许可证的频段,也是工信部重点支持的 RFID 频率^[11],无线通信距离般大于 1 m,典型情况为 4~6 m,最大可达 10 m 以上。

(2) RFID 读写器和物联网网络层的无线接入

RFID 读写器一般通过网关设备接入物联网的网络层,网关设备是一个双向功能的设备,RFID 读写器通过近距离无线通信将物品数据信息传送给网关设备,网关设备将数据传送给网络层,网关设备也可以把来自应用层的客户要求等信息向下通过近距离无线通信传送给 RFID 读写器,网关设备起到一个将 RFID 系统和网络层协同工作和融合的作用。

目前,人们也在探索读写器上直接集成无线通信模块,将读写器直接改造成一个智能终端^[12],可以和手机一样无线接入网络层的移动通信网络,延长读写器和网络层的接入距离。相对应的,也可以在网关设备直接集成无线通信模块。综上所述,RFID 系统和无线通信技术构造了一个物品信息实时共享的网络^[13-14]。

(3) 无线通信的安全和干扰问题

RFID 系统中一个阅读器可以同时阅读多个电子标签信息^[15],电子标签信息在无线传输中存在相互干扰冲突,射频识别的碰撞防冲突问题是射频技术发展面临的主要问题和难点^[9]。目前采取空分多址技术,智能天线阵技术,减少射频识别的碰撞冲突问题。

无线电电磁干扰和信息安全问题是无线通信

方式所面临的主要缺陷,所以在 RFID 系统中,要采用扩频、跳频和信息加密和鉴权认证等无线通信技术提高 RFID 系统无线传输环节的安全性。

3.2.2 无线通信技术在无线传感网络中的应用

传统的无线传感器网络 (WSN) 是指“随机分布的集成有传感器、数据处理单元和通信单元的微小节点,通过自组织的方式构成的无线网络”^[16]。

WSN 存在各种结构,其中分层 WSN 结构,如图 2 所示,WSN 的节点之间的通信方式属于近距离无线通信,传输距离可达 100 m,节点之间通过多跳方式将感知到的数据近距离无线通信传到簇头,再由簇头将汇聚的信息通过有线 IP 发送出去。

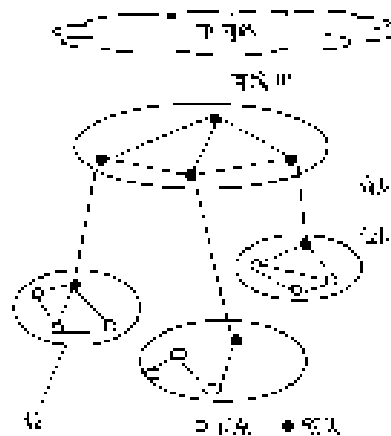


图 2 WSN 结构

Fig. 2 Structure of wireless sensor network (WSN)

从理论上讲可以无限扩展 WSN 的规模。但实际上,由于 WSN 节点的传输距离短,分层结构可以增大 WSN 的服务范围,但复杂的分层会导致传输延迟增大、成本增高,而且有线通信方式会存在布线的局限性,所以只靠 WSN 本身和有线 IP 很难真正实现其“无所不在”的构想。

WSN 在近年来的发展中,越来越重视与无线通信技术的融合,在这里介绍一种思想,如图 3 所示,将无线网络作为 WSN 接入 IP 网络的通道,同时在 WSN 和网络层之间一个中间层,这个层由双模的 WSN 网关 (双模 Sink) 构成,其中,WSN 网关具备无线传感网顶层节点 (簇头) 的功能,同时具

备蜂窝网络的无线接入终端的作用,起到将移动通信网和无线传感网络的融合作用,WSN借助网关节点和通过蜂窝网络以无线通信方式将WSN的信息传送到互联网,由此构成“无所不在”的泛在网络。

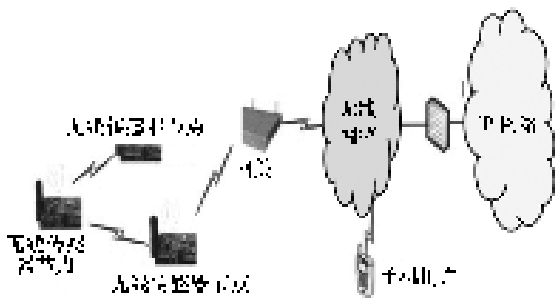


图3 与无线通信网络结合的 WSN

Fig.3 Wireless communication network combined with WSN

目前关于网关节点功能和接入协议的研究是物联网的研究热点。将网关节点集成无线通信模块,具备移动通信网络的终端作用和特点,是解决WSN与网络层融合的问题方法之一,同时人们也在探索将移动通信基站设备或手机终端作为网关节点的可行性,这样对扩大传感节点的容量也有较大的作用。值得注意的是,这里存在一个移动通信行业重新制定终端的管理规范和接入协议问题。

基于IP的传感网络也是目前的研究热点,特别是以IPv6为核心的下一代互联网的发展,将为每个传感器分配IP地址^[10],这样可以通过手机、电脑终端设备以无线方式无需网关节点直接连接遍布各处的传感器,随时随地和物品之间沟通。

此外,WSN节点之间的无线通信方式具有无线通信的一切特点,如加密安全问题,节点信息传输过程中遇到信道拥挤、碰撞问题,无线传感网络需要开发专门通信协议^[17]来解决这些问题。

4 光通信技术在物联网网络层中的应用

4.1 光纤通信技术在物联网网络层中的应用

感知层收集到的数据信息可以通过有线网络

或无线网络传输到物联网的应用层处理,有线通信方式中以光纤通信技术为主,因为光纤通信网络通信容量大,不受电磁干扰,适合长距离传输,便于铺设和运输,尤其是可实现20 THz的宽带接入,非常适宜物联网的大数据传输要求。在一些企业,如煤炭、电力、石油和航空等系统内部建立的物联网,为确保数据传输的可靠性、稳定性和保密性,采用了光纤通信传输方式,但有线连接的方式受到线路部署和环境的限制,很难满足物联网任意时间、任意地点的接入要求。无线通信虽然接入灵活,但其有限的带宽限制了信息传输速率,所以在物联网中如何将光纤传输与无线传输相结合,最大化地利用两者的优势是物联网发展中需要探讨的一个问题。

4.2 无线通信技术在物联网网络层中的应用

为保证信息应用的时效性,选择无线通信网络为物联网的网络层是实现物联网物与物、人与物、人与自然之间的任意时间、任意地点的连接和信息交换目标的重要保证。我国移动通信网的运行已高度成熟化,网络覆盖范围在全国无处不在,物联网直接利用现有的无线通信网作为网络层,使得物联网部署方便、降低建设成本,提高信息传输效率,并为移动物联网设备的开发提供良好基础。移动通信网络将是物联网最主要的接入手段。

目前2.5G的窄带GPRS在我国已成熟运营几十年,网络可靠性高,基站覆盖范围广泛,适合物联网无处不在的网络要求,但GPRS数据传输速率最高值为115 kbps。随着物联网的发展,物联网中人和物、物和物,物和机器的数据通信业务会日益增多,将大大超过目前人和人通信业务量,而GPRS满足不了未来物联网所增加的物品信息数据,会造成数据传输拥堵,目前3G网络技术可以提供最高2 Mbps数据传输速率,为日益增强的物联网数据业务提供了支持和保障。4G LTE (Long Term Evolution)技术由于采用了正交频分复用和多输入多输出等传输技术,数据传输速率最高值可达201 Mbps,接入带宽大大增加。与3G相比,4G带宽为20 MHz,是3G的10倍,4G LTE是全数据业务,数据速率显著提高,网络更少、网

络部署和维护成本降低,更适合物联网日益增长的数据传输要求,从根本上解决了信息传输的拥堵问题,同时 LTE 系统支持 IPv6 协议,可以允许容纳足够多的终端^[12],为物联网移动终端的开发提供了可行性。

值得思考的是,移动通信网的现有安全机制是在人与人的通信基础上,当移动通信网应用于物联网时,物联网大量增加的物的数据信息在传输时会造成网络拥塞,所以移动通信网的安全协议未来还应增加物与物,物与人之间通信的部分。移动通信网需要根据物联网的特征对安全机制进行调整和补充,应能为物联网提供网络管理、业务

管理、移动性管理、服务质量管理、安全性管理、位置服务、认证鉴权能力、计费能力^[10]等管理能力。

5 物联网的无线终端

物联网移动终端的开发研究是未来物联网发展的重点之一。

M2M (machine to machine) 是两个机器之间的通信方式,是现阶段物联网应用形式之一。其主要思想如图 4 所示。中国著名通信专家、上海信天通信有限公司总经理祁庆中先生指出,M2M 会在若干年后成为 LTE 的核心应用之一^[18]。

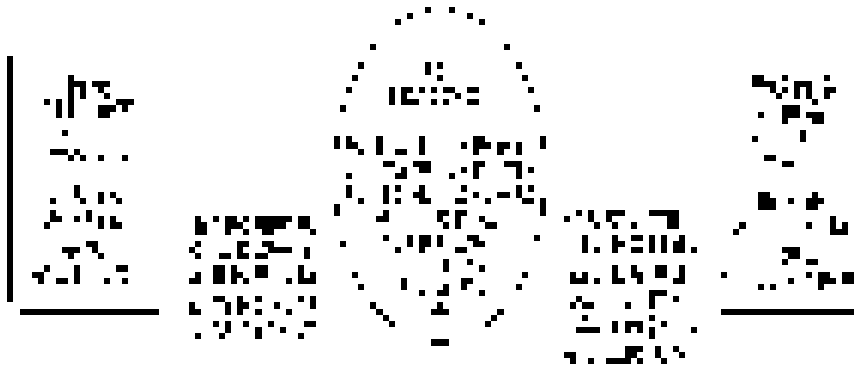


图4 M2M 示意图

Fig. 4 Schematic diagram of M2M

M2M 设备是能够回答包含在一些设备中的数据请求或能够自动传送包含在这些设备中的数据设备^[17],M2M 技术的重点在于机器对机器的无线通信^[5],实现方法之一是通过将 GPRS/3G/4G 通信模块嵌入到 M2M 设备,使 M2M 设备具备无线通信能力,或者将 M2M 芯片嵌入到手机终端,手机成为集通信、感知和信息处理的综合智能终端^[10]。以上两种方式均可以实现物联网终端的无线接入。

但是物联网终端作为移动通信网络的终端,必须符合移动通信网络的终端管理模式,现有的移动通信网络终端管理模式是建立在在人与人通信的基础上的,所以对于物联网终端的管理还需要运营商重新制定统一的模式。

6 结束语

在物联网今后的发展过程中,光纤传感器和光通信技术的结合应用是必然趋势,光纤传感器目前可用于 70 多个物理量的测量,可以将光纤传感器应用于日常生活的各个角落、工程施工场所和任何恶劣的环境下去采集人们所需要的数据信息,同时光通信技术所具有的高宽带、高信息传输速率优势非常适合物联网海量数据的传输要求,再通过与高度成熟的移动通信网组合,可以实现物与物之间、物与人之间、人与人之间无处不在的信息数据的实时交换和处理。今后光纤传感器、光通信技术和移动通信网的融合应用将使得物联网部署更灵活方便、降低建设成本、提高信息

传输效率,并为移动物联网设备的开发提供良好基础。

无线光通信技术、移动通信网络是无线物联网发展的基础条件,也是物联网移动终端研究开发的基础。无线通信方式和移动通信网络存在因信道的开放性而带来的可靠性问题、安全性问题,比如多径效应、多卜勒效应、远近效应、移动性管理问题、信道分配问题等,对于这些问题,已有相

应的无线通信技术和协议去应对。现在将无线通信技术和移动通信网络应用于物联网时,由于物联网的多层结构和每一层面的多选择性,而且物联网存在着大量自身的特殊安全问题,如感知节点、电子标签的自身安全问题,所以制定物联网各个层面上统一的、标准化协议和技术标准是物联网未来发展必须解决的关键和难点。

参考文献:

- [1] CONT J P. The Internet of things[J]. *Communications Engineer*,2006,4(6):20-25
- [2] Advancing the internet of things for global commerce[EB/OL]. [2014-03-07]. <http://www.autoidlabs.org>.
- [3] 杨志强,肖青,于蓉蓉,等. 中国移动:全方位展开物联网应用实践[J]. *世界电信*,2009(11):40-42.
YANG ZH J,XIAO Q,YU R R,*et al.*. China mobile:comprehensive practical application on the internet of things[J]. *World Telecommunications*,2009(11):40-42. (in Chinese)
- [4] 吴从均,颜昌翔,高志良. 空间激光通信发展概述[J]. *中国光学*,2013,6(5):672-680.
WU C J,Yan CH X,GAO ZH L. Overview of space laser communications[J]. *Chinese Optics*,2013,6(5):672-680. (in Chinese)
- [5] 林宏,周朋超,王菲菲,等. 用于光通信的高速响应有机电致发光器件[J]. *发光学报*,2013,34(1):73-77.
LIN H,ZHOU P CH,WANG F F,*et al.*. Fast response organic light-emitting devices for optical communication[J]. *Chinese J. Luminescence*,2013,34(1):73-77. (in Chinese)
- [6] 陈桂芬,王义君. 无线传感器网络跨层服务优化时间同步机制[J]. *光学精密工程*,2013,21(12):3231-3238.
CHEN G F,WANG Y J. Optimization time synchronization in cross-layer service for WSNs[J]. *Opt. Precision Eng.*,2013,21(12):3231-3238. (in Chinese)
- [7] 陈如明. 泛在/物联/传感网与其它信息通信网络关系分析思考[J]. *移动通信*,2010,34(8):47-51.
CHEN R M. Analysis of ubiquitous/internet of things/sensor network and other communication network relation[J]. *Mobile Communications*,2010,34(8):47-51. (in Chinese)
- [8] BOHNERT K,GABUS P,NEHRING J,*et al.*. Temperature and vibration insensitive fiber-optic sensor[J]. *J. Lightwave Technology*,2002,20(2):267.
- [9] 李航,陈后金. 物联网的关键技术及其应用前景[J]. *中国科技论坛*,2011(1):81-85.
LI H,CHEN H J. Key technology and application prospect of the internet of things[J]. *Forum on Science and Technology in China*,2011(1):81-85. (in Chinese)
- [10] 解冲锋,孙颖,高歆雅. 物联网与电信网融合策略探讨[J]. *电信科学*,2009(12):9-12.
XIE CH F,SUN Y,GAO X Y. Convergency strategy of sensor network and telecom network[J]. *Telecommunications Science*,2009,25(12):9-12. (in Chinese)
- [11] 工信部物联网“十二五”发展八项任务.[EB/OL]. [2014-03-10]. <http://wenku.baidu.com/link?url=HRNafsY-ffW8vc0HsiFMHW4UYeFpmizwDnyrvctLRyMpCTZmFxyU9y2KhGf7tjPihicZ-IumDyIRUWCpBDihSIM2MXfG1DePGbt1Ync-GWS>.
The Twelfth Five-year Plan Development Tasks the Internet of Things[EB/OL]. [2014-03-10]. <http://wenku.baidu.com/link?url=HRNafsYffW8vc0HsiFMHW4UYeFpmizwDnyrvctLRyMpCTZmFxyU9y2KhGf7tjPihicZ-IumDyIRUWCpBDihSIM2MXfG1DePGbt1Ync-GWS>.
- [12] 宁祥峰,张春业,万伟,等. 基于LTE系统的物联网架构的研究与设计[J]. *计算机应用*,2010(30):6-9.
NING X F,ZHANG CH Y,WAN W,*et al.*. Research and design of Internet of things architecture based on LTE system [J]. *J. Computer Appl.*,2010,30(6):6-9. (in Chinese)

- [13] WELBOURNE E, BATTLE L, COLE G, *et al.*. Building the interact of things using[J]. *IEEE Internet. Computing*, 2009, 13(3):48-55. (in Chinese)
- [14] 宋合营, 赵会群. 物联网分布式识读者数据采集方案设计与实现[J]. 北方工业大学学报, 2008, 20(1):22-26.
SONG H Y, ZHAO H Q. Data collection solution design and implementation of distributed reader in EPC network[J]. *J. North China University of Technology*, 2008, 20(1):22-26. (in Chinese)
- [15] 单承贛, 马海燕. TYPE A 型卡的曼彻斯特码的编解码技术[J]. 通信技术, 2003(3):51-52.
SHAN CH G, MA H Y. Coding and decoding technology of manchester code of type a IC card[J]. *Communication Technology*, 2003(3):51-52. (in Chinese)
- [16] 诸瑾文, 王艺. 电信运营商角度看物联网的总体架构和发展[J]. 电信科学, 2010, 26(4):1-5.
ZHU J W, WANG Y. Carrier's views on the general architecture and evolution of IOT[J]. *Telecommunications Science*, 2010, 26(4):1-5. (in Chinese)
- [17] 郭苑, 张顺颐, 孙雁飞. 物联网关键技术及有待解决的问题研究[J]. 计算机技术与发展, 2010(20):180-183.
GUO Y, ZHANG SH Y, SUN Y F. Research of key technologies and unresolved questions of internet of things[J]. *Computer Technology and Development*, 2010, 20(11):180-183. (in Chinese)
- [18] 祁庆中. 物联网与 M2M 业务的战略思考[J]. 中兴通讯技术, 2010, 16(1):3-5.
QI Q ZH. The Internet of things and M2M business strategic thinking[J]. *ZTE Communications*, 2010, 16(1):3-5. (in Chinese)

作者简介:



杨秀清(1967—),女,河北人,硕士,副教授,主要从事电子信息工程技术、无线通信等方面的研究。E-mail: yangxql@163.com



陈海燕(1971—),女,广东人,硕士,工程师,主要从事嵌入式系统、移动互联网等方面的研究。E-mail: chy_pie@sina.com