

# 物联网技术研究综述\*

王保云

(南京邮电大学自动化学院, 南京 210003)

**摘 要:** 近几年来物联网技术受到了人们的广泛关注。本文介绍了物联网技术的概念、历史与发展现状。以最具代表性的 EPC Global 物联网体系架构和 Ubiquitous ID 物联网系统为例, 对物联网的网络体系与服务体系进行了阐述; 分析了物联网研究中的关键技术, 包括 RFID 技术、传感器网络与检测技术、智能技术和纳米技术; 最后, 展望了物联网技术的前景以及对人类生活、工业发展、科技进步的促进作用。

**关键词:** 物联网; RFID; 传感网; 智能

**中图分类号:** TP303

**文献标识码:** A

**国家标准学科分类代码:** 510.5030

## Review on internet of things

Wang Baoyun

(College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** In recent years, extensive attention has been paid to Internet of Things. The concept, history and development of Internet of Things were introduced firstly. The network architecture and the service system were described then, including two of the most representative architectures, the EPC Global Internet of Things architecture and the Ubiquitous ID complex networking system. The key technologies of Internet of Things were analyzed, including RFID technology, sensor network and detection technology, intelligent technology and nano-technology. Finally, this paper gave the future prospects of Internet of Things technology, as well as its facilitating role to human life, industrial development, scientific and technological progress.

**Keywords:** Internet of Things; RFID; Sensor network; Intelligent technology

## 1 引 言

“物联网”(Internet of Things), 指的是将各种信息传感设备, 如射频识别(RFID)装置、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等种种装置与互联网结合起来而形成的一个巨大网络<sup>[1-3]</sup>。其目的是让所有的物品都与网络连接在一起, 系统可以自动的、实时的对物体进行识别、定位、追踪、监控并触发相应事件。“物联网”是继计算机、互联网与移动通信网之后的世界信息产业第三次浪潮。“物联网”概念的问世, 打破了之前的传统思维。过去的思路一直是将物理

基础设施和 IT 基础设施分开: 一方面是机场、公路、建筑物, 而另一方面是数据中心, 个人电脑、宽带等。而在“物联网”时代, 钢筋混凝土、电缆将与芯片、宽带整合为统一的基础设施, 在此意义上, 基础设施更像是一块新的地球工地, 世界的运转就在它上面进行, 其中包括经济管理、生产运行、社会管理乃至个人生活。

“物联网”的概念是在 1999 年提出的, 它的定义很简单: 把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网连接起来, 实现智能化识别和管理。也就是说, 物联网是指各类传感器和现有的互联网相互衔

本文于 2009 年 10 月收到。

\*基金项目: 国家自然科学基金(编号: 60873195)资助项目; 安徽省自然科学基金(编号: 070412049)资助项目。

接的一个新技术。

2005 年国际电信联盟(ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005: 物联网》, 报告指出, 无所不在的“物联网”通信时代即将来临, 世界上所有的物体从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过因特网主动进行交换。射频识别技术(RFID)、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将到更加广泛的应用<sup>[1]</sup>。

2008 年 3 月在苏黎世举行了全球首个国际物联网会议“物联网 2008”, 探讨了“物联网”的新理念和新技术与如何将“物联网”推进发展的下个阶段。奥巴马就任美国总统后, 与美国工商业领袖举行了一次“圆桌会议”, 作为仅有的两名代表之一, IBM 首席执行官彭明盛首次提出“智慧的地球”这一概念, 建议新政府投资新一代的智慧型基础设施, 阐明其短期和长期效益。奥巴马对此给予了积极的回应: “经济刺激资金将会投入到宽带网络等新兴技术中去, 毫无疑问, 这就是美国在 21 世纪保持和夺回竞争优势的方式”。此概念一经提出, 即得到美国各界的高度关注, 甚至有分析认为, IBM 公司的这一构想极有可能上升至美国的国家战略, 并在世界范围内引起轰动。

2009 年 8 月 7 日温家宝总理到无锡微纳传感网工程技术研发中心视察并就、发表了重要讲话。8 月 24 日, 中国移动总裁王建宙赴台首次发表公开演讲, 提出了“物联网”理念。王建宙指出, 通过装置在各类物体上的电子标签(RFID), 传感器、二维码等经过接口与无线网络相连, 从而给物体赋予智能, 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沟通和对话。这种将物体联接起来的网络

被称为“物联网”。王建宙同时指出, 要真正建立一个有效的“物联网”, 有两个重要因素。一是规模性, 只有具备了规模, 才能使物品的智能发挥作用; 二是流动性, 物品通常都不是静止的, 而是处于运动的状态, 必须保持物品在运动状态, 甚至高速运动状态下都能随时实现对话。

## 2 物联网的网络体系与服务体系

目前, 物联网还没有一个广泛认同的体系结构, 最具代表性的物联网架构是欧美支持的 EPCGlobal “物联网”体系架构和日本的 Ubiquitous ID(UID)物联网系统<sup>[2-8]</sup>。EPCglobal 和泛在 ID 中心(Ubiquitous ID center) 都是为推进 RFID 标准化而建立的国际标准化团体, 我国也积极参与了上述物联网体系, 正在积极制定符合我国发展情况的物联网标准和架构。

### 2.1 EPCGlobal“物联网”体系架构

EPC Global 是由美国统一代码协会(UCC)和国际物品编码协会(EAN)于 2003 年 9 月共同成立的非营利性组织, 其前身是 1999 年 10 月 1 日在美国麻省理工学院成立的非营利性组织 Auto-ID 中心。Auto-ID 中心以创建“物联网”(Internet of Things)为使命, 与众多成员企业共同制订一个统一的开放技术标准。

EPC 系统由 EPC 编码体系、射频识别系统和信息网络系统 3 部分组成, 主要包括 6 个方面, 如表 1 所示。

EPC “物联网”体系架构由 EPC 编码、EPC 标签及读写器、EPC 中间件、ONS 服务器和 EPCIS 服务

表 1 EPC 物联网系统构成  
Table 1 Composition of LPL internet of things system

系统构成	名称	说明
EPC 编码体系	EPC 代码	用来标识目标的特定代码
	EPC 标签	贴在物品之上或内嵌在物品之中
射频识别系统	读写器	识读 EPC 标签
	EPC 中间件	
信息网络系统	对象名称解析服务 (Object Naming Service, ONS)	EPC 系统的软件支持系统
	EPC 信息服务	

器等部分构成<sup>[5-6]</sup>。

### 2.2 UID 技术体系结构

日本在电子标签方面的发展, 始于 20 世纪 80

年代中期的实时嵌入式系统 TRON。T-Engine 是其中核心的体系架构。在 T-Engine 论坛领导下, 泛在 ID 中心设立在东京大学, 于 2003 年 3 月成立, 并得到

日本政府经产省和总务省以及大企业的支持,目前包括微软、索尼、三菱、日立、日电、东芝、夏普、富士通、NTT、DoCoMo、KDDI、J-Phone、伊藤忠、大日本印刷、凸版印刷、理光等重量级企业。UID 中心建立的目的是为了建立和普及自动识别“物品”所需的基础技术,最终实现“计算无处不在”的理想环境。

UID 技术体系架构由泛在识别码(uCode)、泛在通信器、信息系统服务器、和 ucode 解析服务器等 4 部分构成。UID 使用 uCode 作为现实世界物品和场所的标识,UC 从 uCode 电子标签中读取 uCode 获取这些设施的状态,并控制它们,UC 类似于 PDA 终端。UID 能在多种行业中得到广泛应用,UID 是将现实世界用 uCode 标签的物品、场所等各种实体和虚拟世界中存储在信息服务器中各种相关信息联系起来,实现“物物互联”。而且,UID 是一个开放的架构,它的规范是对大众公开的。

### 3 物联网研究中的关键技术

2005 年,国际电联发表了一份题为“物联网”的报告,其第一作者劳拉·斯里瓦斯塔瓦说:“我们现在站在一个新的通信时代的入口处,在这个时代中,我们所知道的因特网将会发生根本性的变化。因特网是人们之间通信的一种前所未有的手段,现在因特网又能把人与所有的物体连接起来,还能把物体与物体连接起来”。国际电联报告提出物联网主要有四个关键性的应用技术:标签事物的 RFID,感知事物的传感网络技术 Sensor technologies,思考事物的智能技术 Smart technologies,微缩事物的纳米技术 Nanotechnology—RFID,传感器,智能技术以及纳米技术<sup>[1]</sup>。

#### 3.1 物联网包含的关键技术之一——RFID

RFID(radio frequency identification, 射频识别)射频识别是一种非接触式的自动识别技术,它通过射频信号自动识别目标对象并获取相关数据,识别过程无须人工干预,可工作于各种恶劣环境。RFID 技术可识别高速运动物体并可同时识别多个标签,操作快捷方便。RFID 技术与互联网、通讯等技术相结合,可实现全球范围内物品跟踪与信息共享<sup>[4,6]</sup>。

RFID (Radio Frequency Identification, 射频识别)电子标签是一种把天线和 IC 封装到塑料基片上的新型无源电子卡片;具有数据存储量大、无线无源、小巧轻便、使用寿命长、防水、防磁和安全防伪等特点;是近几年发展起来的新型产品,是未来几年代替条形码走进“物联网”时代的关键技术之一。阅读器(即 PCE 机)和电子标签(即 PICC 卡)之间通过电磁场感应进行能量、时序和数据的无线传输。在 PCD 机天线的可识别范围内,可能会同时出现多张 PICC 卡。如何准确识别每张卡,是 A 型 PICC 卡的防碰撞(即 anticollision, 也叫防冲突)技术要解决的关键问题。

RFID 的技术标准主要由 ISO 和 IEC 制定的。目前可供射频卡使用的几种射频技术标准有 ISO/IEC 10536、ISO/IEC 14443、ISO/IEC 15693 和 ISO/IEC 18000。应用最多的是 ISO/IEC 14443 和 ISO/IEC 15693,这两个标准都由物理特性、射频功率和信号接口、初始化和反碰撞以及传输协议 4 部分组成。

RFID 基本上是由 3 部分组成:

标签(Tag):由耦合元件及芯片组成,每个标签具有唯一的电子编码,附着在物体上标识目标对象;

阅读器(Reader):读取(有时还可以写入)标签信息的设备,可设计为手持式或固定式;

天线(Antenna):在标签和读取器间传递射频信号。

RFID 的技术难点与问题可以概括为如下几个方面:

1)RFID 反碰撞防冲突问题;2)RFID 天线研究;3)工作频率的选择;4)安全与隐私问题。

#### 3.2 传感器网络与检测技术

传感器是机器感知物质世界的“感觉器官”,可以感知热、力、光、电、声、位移等信号,为网络系统的处理、传输、分析和反馈提供最原始的信息。随着科技技术的不断发展,传统的传感器正逐步实现微型化、智能化、信息化、网络化,正经历着一个从传统传感器(dumb sensor)→智能传感器(smart sensor)→嵌入式 Web 传感器(embedded web sensor)的内涵不断丰富的发展过程。

无线传感器网络(WSN, wireless sensor network)是集分布式信息采集、信息传输和信息处理技术于一体的网络信息系统,以其低成本、微型化、低功耗

和灵活的组网方式、铺设方式以及适合移动目标等特点受到广泛重视,是关系国民经济发展和国家安全的重要技术。物联网正是通过遍布在各个角落和物体上的形形色色的传感器以及由它们组成的无线传感器网络,来最终感知整个物质世界的。

传感器网络节点的基本组成包括如下几个基本单元:传感单元(由传感器和模数转换功能模块组成)、处理单元(包括 CPU、存储器、嵌入式操作系统等)、通信单元(由无线通信模块组成)以及电源。此外,可以选择的其他功能单元包括:定位系统、移动系统以及电源自供电系统等。在传感器网络中,节点可以通过飞机布撒或人工布置等方式,大量部署在被感知对象内部或者附近。这些节点通过自组织方式构成无线网络,以协作的方式实时感知、采集和处理网络覆盖区域中的信息,并通过多跳网络将数据经由 Sink 节点(接收发送器)链路将整个区域内的信息传送到远程控制管理中心。另一方面,远程管理中心也可以对网络节点进行实时控制和操纵。

目前,面向物联网的传感器网络技术研究包括以下一些方面:

#### 1) 先进测试技术及网络化测控

综合传感器技术、嵌入式计算机技术、分布式信息处理技术等,协作地实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,并对其进行处理、传送。研究分布式测量技术与测量算法,应对日益提高的测试和测量需求。

#### 2) 智能化传感器网络节点研究

传感器网络节点为一个微型化的嵌入式系统,构成了无线传感器网络的基础层支持平台。

感知物质世界及其变化过程中,需要检测的对象很多,如温度、压力、湿度、应变等,微型化、低功耗对于传感器网络的应用意义重大,研究采用 MEMS 加工技术,并结合新材料的研究,设计符合未来要求的微型传感器;其次,需要研究智能传感器网络节点的设计理论,使之可识别和配接多种敏感元件,并适用于主被动各种检测方法;第三,各节点必须具备足够的抗干扰能力、适应恶劣环境的能力,并能够适合应用场合、尺寸的要求;第四,研究利用传感器网络节点具有的局域信号处理功能,在传感器节点附近局部完成很多信号信息处理工作,

将原来由中央处理器实现的串行处理、集中决策的系统,改变为一种并行的分布式信息处理系统。

#### 3) 传感器网络组织结构及底层协议研究

网络体系结构是网络的协议分层以及网络协议的集合,是对网络及其部件所应完成功能的定义和描述。对无线传感器网络来说,其网络体系结构不同于传统的计算机网络和通信网络。有学者提出无线传感器网络体系结构可由分层的网络通信协议、传感器网络管理以及应用支撑技术 3 部分组成。分层的网络通信协议结构类似于 TCP/IP 协议体系结构;传感器网络管理技术主要是对传感器节点自身的管理以及用户对传感器网络的管理;在分层协议和网络管理技术的基础上,支持了传感器网络的应用支撑技术。

在实际应用当中,传感器网络中存在大量传感器节点,密度较高,网络拓扑结构在节点发生故障时,有可能发生变化,应考虑网络的自组织能力、自动配置能力及可扩展能力;在某些条件下,为保证有效的检测时间,传感器点要保持良好的低功耗性;传感器网络的目标是检测相关对象的状态,而不仅是实现节点间的通信。因此,在研究传感器网络的网络底层协议时,要针对以上特点,开展相关工作。

#### 4) 对传感器网络自身的检测与控制

由于传感器网络是整个物联网的底层和信息来源,网络自身的完整性、完好性和效率等参数性能至关重要。对传感器网络的运行状态及信号传输通畅性进行监测,研究开发硬件节点和设备的诊断技术,实现对网络的控制。

#### 5) 传感器网络的安全

传感器网络除了具有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物理操纵,并获取存储在传感节点中的所有信息,从而控制部分网络的威胁。必须通过其它的技术方案来提高传感器网络的安全性能。如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;对传输信息加密解决窃听问题;保证网络中的传感信息只有可信实体才可以访问,保证网络保证私有性问题;

采用一些跳频和扩频技术减轻网络堵塞问题。

### 3.3 智能技术

智能技术是为了有效地达到某种预期的目的,利用知识所采用的各种方法和手段。通过在物体中植入智能系统,可以使得物体具备一定的智能性,能够主动或被动的实现与用户的沟通,也是物联网的关键技术之一。主要的研究内容和方向包括:

#### 1) 人工智能理论研究

智能信息获取的形式化方法;海量信息处理的理论和方法;网络环境下信息的开发与利用方法;机器学习。

#### 2) 先进的人-机交互技术与系统

声音、图形、图像、文字及语言处理;虚拟现实技术与系统;多媒体技术。

#### 3) 智能控制技术与系统

物联网就是要给物体赋予智能,可以实现人与物体的沟通和对话,甚至实现物体与物体互相间的沟通和对话。为了实现这样的目标,必须要对智能控制技术与系统实现进行研究。例如:研究如何控制智能服务机器人完成既定任务(运动轨迹控制、准确的定位和跟踪目标等)。

#### 4) 智能信号处理

信息特征识别和融合技术、地球物理信号处理与识别。

### 3.4 纳米技术

纳米技术,是研究结构尺寸在 0.1~100 nm 范围内材料的性质和应用,主要包括:纳米体系物理学、纳米化学、纳米材料学、纳米生物学、纳米电子学、纳米加工学、纳米力学等。这 7 个相对独立又相互渗透的学科和纳米材料、纳米器件、纳米尺度的检测与表征这 3 个研究领域。纳米材料的制备和研究是整个纳米科技的基础。其中,纳米物理学和纳米化学是纳米技术的理论基础,而纳米电子学是纳米技术最重要的内容。

使用传感器技术就能探测到物体物理状态,物体中的嵌入式智能能够通过通过网络边界转移信息处理能力而增强网络的威力,而纳米技术的优势意味着物联网当中体积越来越小的物体能够进行交互和连接。

当前电子技术的趋势要求器件和系统更小、更快、更冷,更小,是指响应速度要快。更冷是指单个器件的功耗要小。但是更小并非没有限度。纳米技术是建设者的最后疆界,它的影响将是巨大的。纳米电子学,包括基于量子效应的纳米电子器件、纳米结构的光/电性质、纳米电子材料的表征,以及原子操纵和原子组装等。

## 4 未来展望——人类将进入物联网时代

物联网需要自动控制、信息传感、射频识别、无线通信及计算机技术等,物联网的研究将带动整个产业链或者说推动产业链的共同发展。可以肯定,在国家大力推动工业化与信息化两化融合的大背景下,物联网会是工业乃至更多行业信息化过程中,一个比较现实的突破口。在手机数据采集、产品的二维码全程监控等手段已经证实,无线通信与传统物联网结合后的“新物联网”已产生更广泛的应用,从而在技术上推动工业走出危机<sup>[1]</sup>。

#### 1) 推进经济发展的驱动器

物联网的推广将会成为推进经济发展的又一个驱动器,为产业开拓了又一个潜力无穷的发展机会。可以预见,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大大超过手机的数量。按照目前对物联网的需求,在近年内就需要按亿计的传感器和电子标签,这将大大推进信息技术元件的生产,同时增加大量的就业机会。

要真正建立一个有效的物联网,有两个重要因素。一是规模性,只有具备了规模,才能使物品的智能发挥作用。二是流动性,物品通常都不是静止的,而是处于运动的状态,必须保持物品在运动状态,甚至高速运动状态下都能随时实现对话。

我国的无线网络已经覆盖了城乡,从繁华的城市到偏僻的农村,从海南岛到珠穆朗玛峰,到处都有无线网络的覆盖。无线网络是实现物联网必不可少的基础设施,安置在动物、植物、机器和物品上的电子介质产生的数字信号可随时随地通过无处不在的无线网络传送出去。“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,使整个网络真正成了一台电脑。

## 2) “物联网”给物体赋予智能

因为车辆与道路之间缺乏沟通,需要一个智能化的交通控制系统。同样,需要一个智能化的供暖控制系统。在生产安全领域,在食品卫生领域,在工程控制领域,在城市管理领域,在人们日常生活的各个方面,甚至在人们的娱乐活动中,都需要建立随时能与物体沟通的智能系统。

“智慧地球”是 IBM 公司首席执行官彭明盛去年首次提出的新概念。通过装置在各类物体上实现物体与物体互相间的沟通和对话,使智能技术正应用到生活的各个方面,如智慧的医疗、智慧的交通、智慧的电力、智慧的食品、智慧的货币、智慧的零售业、智慧的基础设施甚至智慧的城市,这使地球变得越来越智能化。可以想象,当物体被赋予智能,人类将真正有可能从资源的使用者变为资源的控制者和资源的守护者。

## 3) 给物体赋予智能整合“物理设备”实现“智能互联城市”

如果说英特网实现了全球几亿用户的“信息”互联,那么“智能互联建筑”则实现了某一网络内“物理设备”的互联。无论是“智能互联城市”还是“智慧的地球”,类似构想的实现,都要求建立发达的“物联网”。

“智能互联建筑”解决方案在硅谷已有用户使用,美国网域存储技术有限公司(NetApp)就通过执行思科的解决方案节约了 15% 的能耗。思科公司控制工程师 David Shroyer 说,在供电公司的需求响应信号发出 20 分钟之内,Mediator 可将照明亮度减小 50%,将温度设置点提高 4℃,从而节省用电 1.1MW。思科将这一解决方案与其他系统相结合后,在 18 个月内已帮助位于 Sunnyvale 的工作地点的能耗降低了 1800 万千瓦时。这既减少了碳的排放,也节省了大约 200 万美元的能源开支。

“智能互联城市”的方案,能够节约大量能源以及人力,提高人们的生活品质。思科服务业务执行副总裁 Wim Elfrink 说,在目前全球经济下行的时候,中国仍然能够实现 6% 的 GDP 增长,而且中国正在建设多个人口超过百万的城市,这种智能互联城市的概念是非常适用于中国的。

每一次大危机,都会催生一些新技术,而新技术的诞生也是使经济、特别是工业走出危机的巨大推动力。物联网就其本身来说,代表了下一代信息发展技术,随着各方面的共同努力,物联网技术会对中国整个经济起到积极推动作用。

致谢: 本文的撰写过程中得到张志涌教授、陈小惠教授、宋玉蓉副教授、田峰博士的帮助,王强博士为本文做了大量的工作,在此表示感谢!

## 参考文献:

- [1] International Telecommunication Union UIT. ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[R]. 2005.
- [2] GUSTAVO R G, MARIO M O, CARLOS D K. Early infrastructure of an Internet of Things in Spaces for Learning [C]. Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2008: 381-383.
- [3] AMARDEO C, SARMA, J G. Identities in the Future Internet of Things[J]. Wireless Pers Commun 2009, 49: 353 - 363.
- [4] AKYILDIZ L F, et al. Wireless sensor networks: A survey[J]. Computer Networks, 2002, 38:393-422.
- [5] STANKOVIC J A. Real-Time communication and coordination in embedded sensor networks[J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(7):1002- 1022.
- [6] 陈积明,林瑞仲,孙优贤.无线传感器网络的信息处理研究[J]. 仪器仪表学报, 2006,27(9): 1107-1111.  
CHEN J M, LIN R ZH, SUN Y X. Information processing in Wireless Sensor Networks[J].Chinese Journal of Scientific Instrument, 27(9), 2006:1107-1111.
- [7] 李凤保 李凌. 无线传感器网络技术综述[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(增刊 2).  
LI F B, LI L. Survey on Wireless Sensor Network Techniques[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(suppl.2).
- [8] YAN B, HUANG G W. Application of RFID and internet of things in monitoring and anti-counterfeiting for products[C]. 2008 International Seminar on Business and Information Management, 2008: 392-395.
- [9] WUA N C, NYSTROMAM A, LINA T R. Challenges to global RFID adoption[J]. Technovation, 2006, 26(12): 1317-1323.
- [10] 王忠敏. EPC 与物联网[M]. 北京: 中国标准出版社, 2004  
WANG ZH M. EPC and internet of things [M]. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [11] 刘志峰, 张宏海. 基于 RFID 技术的 EPC 全球网络的

构建[J]. 计算机应用, 2005, 25 (增刊 1): 14-15, 19.  
LIU ZH F, ZHANG H H. Construction of a EPC global network based on RFID technology[J]. Computer Applications, 2005, 25 (suppl.1): 14-15, 19.

#### 作者简介:

王保云: 1997 年于东南大学获得工学博士学位, 现为

南京邮电大学自动化学院教授, 主要研究方向为信息内容的智能分析与理解, 智能技术与系统, 信号处理, 信息理论。  
E-mail: bywang@njupt.edu.cn

Wang Bao-Yun, obtained his Ph.D. in electrical engineering from Southeast University in 1997. Now, he is a professor in School of Automation engineering, Nanjing University of Posts and Telecommun. His research interests include: information content understanding, intelligent systems, signal processing, information theory.