

# 物联网技术与应用研究

钱志鸿, 王义君

(吉林大学通信工程学院, 吉林长春 130012)

**摘要:** 在解析物联网两层基本涵义的基础上, 提出了包括底层网络分布、汇聚网关接入、互联网络融合、终端用户应用四部分的物联网系统架构; 设计了由网络通信协议、网络控制平台、应用终端平台组成的面向物联网的网络协议体系, 并从硬件和软件两个层面讨论了实现物联网的关键技术; 在分析当前物联网标准、技术、安全以及应用方面存在问题的基础上提出了未来物联网发展的六个重要理念。

**关键词:** 物联网; 系统架构; 协议体系; 发展理念

**中图分类号:** TN92      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2012) 05-1023-07

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>      **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2012.05.026

## IoT Technology and Application

QIAN Zhi-hong, WANG Yi-jun

(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

**Abstract:** Based on analyzing IoT two basic concepts, architecture of IoT is proposed, which includes underlayer network distribution, convergence gateway access, inter-connected network integration and terminal user application. In the architecture, a protocol structure of IoT is given, which consists of network protocol layers, network control platform and application terminal platform, and the key technologies for IoT have been discussed concerning hardware and software. Six development conceptions of future IoT have been presented based on summarizing the existing problems of IoT in standards, technologies, security and application.

**Key words:** internet of things (IoT); architecture of IoT; protocol structure; development conception

## 1 引言

物联网(Internet of Things, IoT)作为一种新兴网络技术和产业模式<sup>[1-2]</sup>, 在业界受到广泛关注。从国际电信联盟(ITU)在信息社会世界峰会上发布的《互联网报告2005: 物联网》中可以总结出物联网所体现的两层基本涵义: (1)目前的三大网络, 包括互联网(Internet)、电信网、广播电视网是物联网实现和发展的基础, 物联网是在三网基础上的延伸和扩展; (2)用户应用终端从人与人之间的信息交互与通信扩展到了人与物、物与物、物与人之间的沟通连接, 因此, 物联网技术能够使物体变得更加智能化。从目前的发展形势看, 最有可能率先获得智能连接功能的物体包括家居设备、电网设备、物流设备、医疗设备以及农业设备, 并基于此实现人类与自然环境的系统融合<sup>[3-7]</sup>。

随着物联网技术的拓展和创新, 国内外业界人士都将发展物联网视为新的技术创新点和经济增长点。国际

方面, 包括加州大学伯克利分校、麻省理工学院、奥本大学、IBM、Crossbow Technology 公司等众多美国高校以及知名企业对物联网技术提出了相关解决方案, 美国政府鼓励物联网技术发展的政策主要体现在能源、宽带和医疗三大领域<sup>[8]</sup>; 2009年8月日本政府将2004年就推出的“u-Japan”计划升级为“i-Japan”战略, 致力于构建一个智能的物联网服务体系; 与此同时, 韩国、法国、德国、澳大利亚、新加坡等国家也在加紧部署物联网科技与经济发展战略, 逐步推进下一代泛在网络基础设施的建设。国内方面, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所、北京邮电大学、南京邮电大学、复旦大学、吉林大学、江南大学以及无锡市国家传感网信息中心等科研院所及高校对物联网体系架构及软硬件开发进行了相关的研究。目前, 我国的物联网技术及产业链仍处于概念和探索阶段, 物联网的整个技术构架和产业模式尚未形成<sup>[9]</sup>。

本文在系统研究和调研的基础上, 从技术层面说明

了物联网所应具备的系统架构、网络协议体系、关键技术,总结了物联网所面临的问题,提出了未来物联网发展的全新理念。

## 2 IoT 的系统架构

本文所提出的物联网系统架构如图1所示,包括底层网络分布、汇聚网关接入、互联网络融合以及终端用户应用四个部分<sup>[10,11]</sup>。

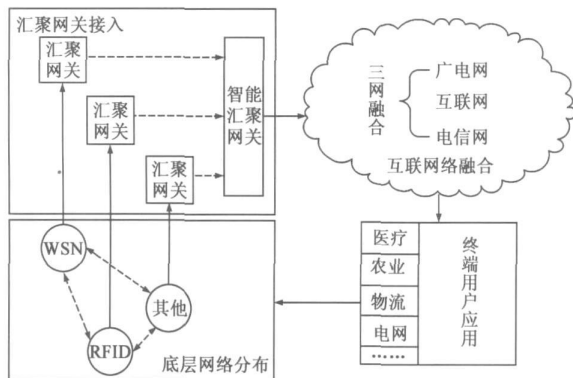


图1 物联网系统架构

在图1中,大量的底层网络系统选择性的分布于物理空间当中,根据各自特点通过相应方式构成网络分布。底层网络通过RFID(Radio Frequency Identification)、WSNs(Wireless Sensor Networks)、无线局域网等网络技术采集物物交换信息并传输到智能汇聚网关,通过智能汇聚网关接入到网络融合体系,最后利用包括广播电视网、互联网、电信网等网络途径使信息到达终端用户应用系统。与此同时,终端用户可以通过主观行为影响底层网络面向不同应用,从而实现人与物、物与物、物与人之间的物联信息交互<sup>[12,13]</sup>。

底层网络分布包括WSNs、RFID系统、无线局域网等异构网络<sup>[14~17]</sup>,通过异构网络的信息交互实现物体对外部物理环境的感知、允许系统对物品属性进行识别以及对信息的采集和捕获。从网络功能上看,底层网络都应具有信息采集和路由的双重功能,同时底层异构网络间还需互相协作完成特定的任务。汇聚网关接入主要完成将底层网络采集的信息平稳接入到传输网络当中,接入技术包括同轴电缆、双绞线、光纤等有线接入方式以及ZigBee、蓝牙、WiMAX、Wi-Fi、4G、卫星通信等无线接入方式。智能汇聚网关通常具有强大的存储、处理和通信能力,其关键是实现向下与底层网络结合,向上平稳与融合网络接入。优化网络系统包括广播电视网、互联网以及电信网的融合网络,主要完成信息的远距离传输。对于终端用户应用系统来说主要完成信息相关服务的发现和应用功能。

## 3 IoT 协议体系

在物联网中要完成可靠稳定的数据交换就必须遵守若干事先约定好的准则,明确规定了所交换的数据格式以及事件实现顺序的若干准则称为物联网网络协议。因此,物联网网络通信协议、物联网网络控制平台、物联网应用终端平台构成了物联网体系结构<sup>[18~20]</sup>,如图2所示。

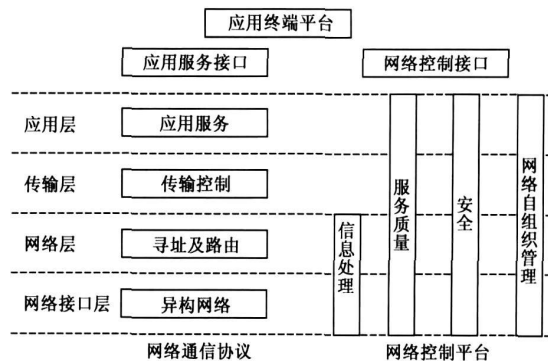


图2 物联网体系结构

### 3.1 网络通信协议

物联网是三网融合基础上的延伸和扩展,而三网融合的关键是实现三网的完全IP化,基于IP的优化网络是三网融合的结合点<sup>[21~24]</sup>。因此对于物联网来说,以IP协议为基础,采用类似于互联网TCP/IP协议的分层网络通信协议可以为上层的各种应用提供服务(everything over IP),同时该协议允许IP协议下的各种异构网络可以在优化网络上运行(IP over everything)。图3给出了物联网分层网络通信协议族示意图。

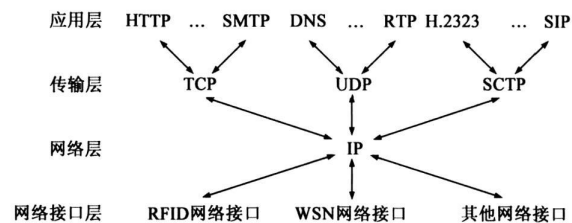


图3 物联网通信协议族示意图

(1)网络接口层:物联网的网络接口层负责完成信息的采集和捕获,并对信息进行有效的融合和压缩,所采用的传输介质主要有无线电波、光波、红外线等。

(2)网络层:物联网的网络层主要负责IP寻址和路由的发现和维持。物联网中各种异构网络能够互相通信就必须进行非常复杂的硬件地址转换,这项工作对于异构网络中的各个节点来说几乎是不可能完成的。但统一的IP地址就可以解决这样的复杂问题;针对未来物联网的需求,需要在底层网络中建立一种基于IP的新路由方式来实现优化网络主机与物联网节点之

间的无缝链接通信。

(3)传输层: 物联网的传输层主要负责数据流的传输控制, 具有分用和复用的功能。

(4)应用层: 物联网的应用层是体系结构中的最高层, 本层直接为终端用户应用进程提供服务。

### 3.2 网络控制平台

网络控制平台主要是对底层异构网络间信息处理的管理以及整个物联网网络的自组织管理, 包括信息处理管理、网络自组织管理、安全管理以及服务质量管理。

(1)信息处理管理: 由于物联网感知信息的不确定性, 所以需要对物联网信息进行处理, 主要包括同构网元间的信息融合和信息压缩, 异构网元间的协作信息处理。

(2)网络自组织管理: 物联网大多数节点具有随机部署的特点, 并且物联网的网络拓扑结构具有动态性, 所以需要通过有效的网络自组织管理技术满足物联网网络结构多变性的需求。主要包括异构网络管理、资源与任务管理、数据管理、部署管理、初始化及维护管理。

(3)安全管理: 由于物联网无线信道具有不确定性, 所以传统的安全机制不能适用于物联网的需求, 需要设计新的物联网安全机制, 建立新的物联网安全协议架构。

(4)服务质量管理: 服务质量管理在各协议层设计队列管理, 是物联网网络与终端用户间以及物物之间信息传输和共享的质量约定。物联网必须为物体与物体间、用户与物体间提供充足的资源, 满足网络需求的性能指标。

### 3.3 应用终端平台

应用终端平台建立在网络通信协议和网络控制平台基础之上, 主要包括应用服务接口和网络控制接口, 目的是为终端用户提供可靠的应用进程服务。

## 4 IoT 关键技术分析

物联网作为当今信息科学与计算机网络领域的研究热点, 其关键技术具有跨学科交叉、多技术融合等特点, 每项关键技术都需要亟待突破<sup>[25, 26]</sup>。物联网的关键技术可以从硬件和软件两方面来考虑, 如图 4 所示。硬件技术包括射频识别技术 (RFID)、无线传感器网络技术 (WSNs)、智能嵌入式技术 (Embedded Intelligence) 以及纳米技术 (Nanotechnology); 软件技术包括信息处理技术、自组织管理技术、安全技术。

### 4.1 硬件技术分析

通过定义如下三个抽象概念, 可以进一步说明物联网硬件关键技术的作用。

(1)对象: 客观世界中任何一个事物都可以看成一

个对象, 数以万计的对象证明了客观世界的存在。每个对象都具有两个特点: 属性和行为, 属性描述了对对象的静态特征, 行为描述了对对象的动态特征。任何一个对象往往是由一组属性和一组行为构成的。

(2)消息: 客观世界向对象发出的一个信息。消息的存在说明对象可以对客观世界的外部刺激作出反应。各个对象间可以通过消息进行信息的传递和交流。

(3)封装: 将有关的属性和行为集成在一个对象当中, 形成一个基本单位。

三者之间的关系如图 5 所示。



图4 物联网关键技术

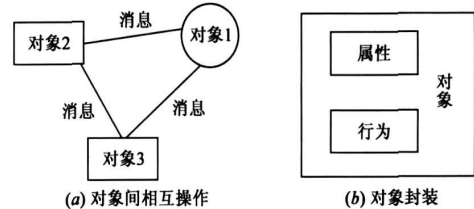


图5 对象关系示意图

物联网的重要特点之一就是使物体与物体之间实现信息交换, 每个物体都是一个对象。因此物联网的硬件关键技术必须能够反映每个对象的特点。首先, RFID 技术<sup>[27]</sup> 利用无线射频信号识别目标对象并读取该对象的相关信息, 这些信息反映了对对象的自身特点, 描述了对对象的静态特征。其次, 除了标识物体的静态特征, 对于物联网中的每个对象来说, 探测它们的物理状态的改变能力, 记录它们在环境中动态特征都是需要考虑的。就这方面而言, 传感器网络在缩小物理和虚拟世界之间的差距方面扮演了重要角色, 它描述了物体的动态特征。再次, 智能嵌入技术通过把物联网中每个独立节点植入嵌入式芯片后, 比普通节点具有更强大的智能处理能力和数据传输能力, 每个节点可以通过智能嵌入技术对外部消息(刺激)进行处理并反应。同时, 带有智能嵌入技术的节点可以使整个网络的处理能力分配到网络的边缘, 增加了网络的弹性。最后, 纳米技术和微型化的进步意味着越来越小的物体将有能力相互作用和连接以及有效封装<sup>[28~30]</sup>。然而, 现有纳米技术发展下去, 从理论上会使半导体器件及集成电路的线

幅达到极限。这是因为, 如果电路的线幅继续变小, 将使构成电路的绝缘膜变得越来越薄, 这样必将破坏电路的绝缘效果, 从而引发电路发热和抖动问题。

## 4.2 软件技术分析

物联网的软件技术用于控制底层网络分布硬件的工作方式和工作行为, 为各种算法、协议的设计提供可靠的操作平台。在此基础上, 方便用户有效管理物联网, 实现物联网的信息处理、安全、服务质量优化等功能, 降低物联网面向用户的使用复杂度。物联网软件运行的分层体系结构如图 6 所示。



图6 物联网软件分层体系结构

如前所述, 物联网硬件技术是嵌入式硬件平台设计的基础。板级支持包相当于硬件抽象层, 位于嵌入式硬件平台之上, 用于分离硬件, 为系统提供统一的硬件接口。系统内核负责进程的调度与分配, 设备驱动程序负责对硬件设备进行驱动, 它们共同为数据控制层面提供接口。数据控制层实现软件支撑技术和通信协议栈, 并负责协调数据的发送与接收。应用软件程序需要根据数据控制层提供的接口以及相关全局变量进行设计。

物联网软件技术描述整个网络应用的任务和所需要的服务, 同时, 通过软件设计提供操作平台供用户对

网络进行管理, 并对评估环境进行验证。网络的软件框架结构如图 7 所示。

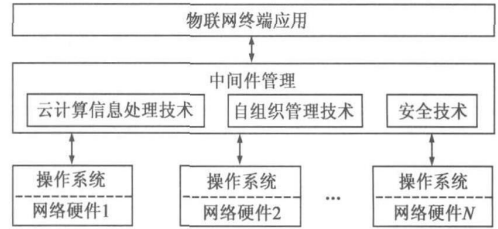


图7 物联网软件框架结构

框架结构网络中每个节点通过中间件<sup>[31~34]</sup>的衔接传递服务。中间件中的云计算信息处理技术、自组织管理技术、安全技术<sup>[35~38]</sup>逻辑上存在于网络层, 但物理上存在于节点内部, 在网络内协调任务管理及资源分配, 执行多种服务之间的相互操作。

## 5 IoT 面临的问题

EPoSS (The European Technology Platform on Smart Systems Integration) 在《Internet of Things in 2020》报告中分析预测, 未来物联网的发展将经历四个阶段, 2010 年之前被广泛应用于物流、零售和制药领域, 2010—2015 年物品互联, 2015—2020 年物品进入半智能化, 2020 年之后几乎所有事物进入全智能化时代。现阶段, 物联网技术还处于初级阶段, 在标准、技术、安全以及应用开发方面都存在一系列的问题和挑战, 如表 1 所示<sup>[39~41]</sup>。

表 1 物联网面临的挑战

标准	国家标准	目前我国在物联网定义、体系结构、系统模型等方面尚未形成统一标准。
	国际标准	虽然各国在标准制定上投入巨大, 但目前还没有相关的完整标准体系出台。
技术	技术瓶颈	物联网是多学科技术融合产物, 其发展容易受到其他技术瓶颈的制约。
	海量数据	物联网系统的高复杂性、高异构性使得其需要传输和处理海量数据信息, 并对各种数据进行海量存储。
	异构网络	物联网的核心是异构网络技术融合, 如何解决异构网络的融合、使其协同、有组织地工作是物联网所面临的一大技术难题。
安全	国家安全	物联网涵盖领域多为民生和国家战略设施, 甚至包括军事领域的信息与控制, 如何确保信息的安全关系着整个国家的安全。
	个人隐私	物联网标签有可能预先被嵌入任何物品中, 该物品的拥有者可能被动的被扫描和定位, 在一定程度上使个人隐私受到威胁。
	商业机密	物联网是全球商品联动的网络, 一旦出现商业信息泄露, 将造成巨大的经济损失, 危及经济安全。
应用	管理平台	建立面向各级用户的物联网综合业务管理平台, 把各类信息进行收集、管理和传输, 从而拓宽物联网高效率执行的应用范围。
	示范系统	示范系统的构建与部署需要设计复杂的公共设施工程, 而且如何让人们愿意使用和自愿维护物联网也是一个亟待解决的问题。
	商业模式	在物联网的推广应用中, 商业模式的创新显得尤为重要, 没有创新的物联网商业模式很难调动产业链中每个角色的积极性。

## 6 IoT 未来发展理念

物联网作为现有网络的延伸, 泛在网络的基础, 未来的发展潜力巨大, 如图 8 所示, 本文通过研究提出了如下物联网发展理念:

(1) 基于上下文的网络聚合理念。由于面向应用的不同需求, 物联网所处的地理位置和网络环境不尽相同, 其采集和处理的信息和数据存在较大差异。利用物联网技术的泛在特性, 物联网中海量信息和资源在跨层上下文的基础之上可以进行深度挖掘、智能分类及

挑选, 从而为终端用户提供更有价值、更有针对性的实用信息。

(2) 基于多宿主概念的网络传输理念。基于多宿主的物联网, 可以使底层网络采集到的信息通过使用若干条有效链路接入到上层融合网络中, 具有增强物联网网络可靠性和鲁棒性、实现负载均衡、减少传输延迟、降低用户开销的实际意义。

(3) 异构网络融合理念。物联网信息的获取依赖于不同类型的异构网络, 异构网络间找到同一种信息表达方法是一个巨大的挑战。物联网异构网络融合首先

表现在数据传输层面, 基于各类异构网络的信息数据都将被整合到一个统一的 IP 融合网络中进行传输; 其次表现在应用服务层面, 把物联网中的所有异构网络应用服务全部整合到一个 IP 融合网络中, 宏观上实现应用服务的完全统一。

(4) 面向应用理念。物联网的泛在特性决定了其必须针对不同的应用场景考虑不同的网络通信和控制方式, 因而对不同应用的物联网网络系统的设计要求也不尽相同。相关的通信协议、软硬件设计需要针对应用场景采取不同的设计方案。与此同时, 有效的中间件设计可以部分屏蔽网络底层的复杂性, 为上层应用提供抽象的管理接口, 能够快速建立起基于物联网的业务应用。

(5) 循环经济产业链理念。由图 1 可以看出, 物联网是一个潜在的内循环系统。从经济学角度来说, 循环经济系统是一项系统工程。循环经济的有效开展需要技术、投资、以及运行成本, 而且循环经济需要建立在资金流动的基础上。通过借鉴循环经济的特点, 把握连接物体和资源循环利用在时空配置上的合理性, 可以为物联网产业链的可持续发展提供重要依据。

(6) 低碳效用理念。物联网的智能化发展提高了人们决策事件的效率及准确率, 很大程度上避免了资源的无效利用, 达到节能减排的效果。随着物联网的深入, 各个行业可以减少人力资源及设备投入, 提高资源利用效率。

## 7 结束语

本文在分析物联网相关技术以及存在问题的基础上, 提出了未来物联网的发展理念。物联网改变了人、物、服务的信息传递模式, 全新的功能体验将给用户带来高效、便利和安全的的生活方式。在物联网产业结构中, 我国与德国、美国、韩国一起成为国际标准制定的主导国, 部分技术的研发水平处于世界前列。所以我国应该抓住历史机遇, 以提升国家及地区经济建设、提升民族品牌国际话语权为目的, 争取尽快突破关键难题, 掌握核心技术, 建立自主化技术体系, 形成具有自主知识产权的成果和可持续的竞争力<sup>[42, 43]</sup>。科研工作者应该通过掌握和拥有更多的自主知识产权, 使物联网逐步成为信息时代助推我国经济腾飞的新引擎。因此, 物联网的快速发展对提高我国在高新技术领域的国际地位, 带动相关产业的全面发展具有重要意义。

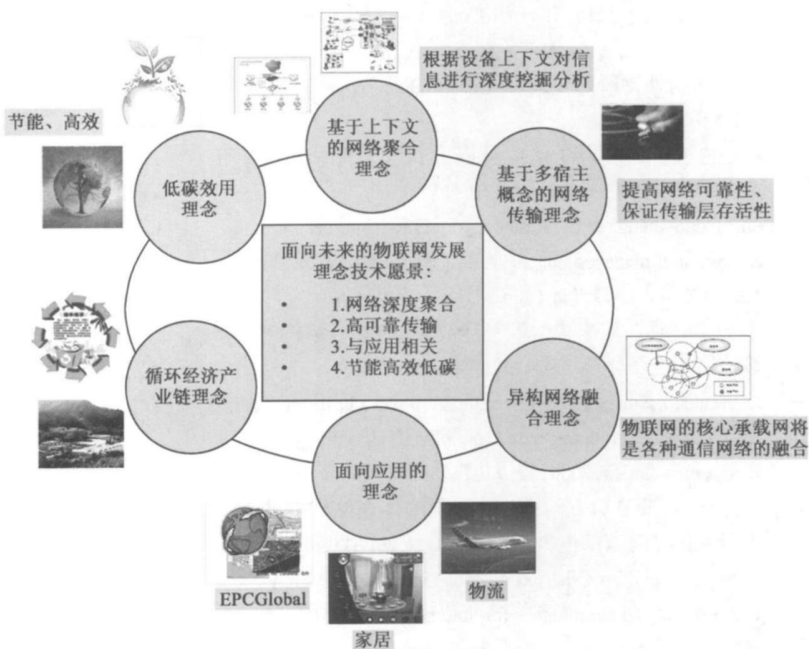


图8 物联网未来发展理念

## 参考文献

- [1] Huang Y H, Li G Y. Descriptive models for internet of things [A]. International Conference on Intelligent Control and Information Processing [C]. Harbin, China: IEEE Press, 2010. 483—486.
- [2] 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, 31(6): 2—9.  
Zhu Hong-bo, Yang Long-xiang, Yu Quan. Investigation of technical thought and application strategy for the internet of things[J]. Journal on Communications, 2010, 31(6): 2—9. (in Chinese)
- [3] 朱洪波, 杨龙祥, 朱琦. 物联网技术进展与应用[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2011, 31(1): 1—9.  
Zhu Hong-bo, Yang Long-xiang, Zhu Qi. Survey on the internet of things[J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2011, 31(1): 1—9. (in Chinese)
- [4] Welbourne E, et al. Building the internet of things using RFID: The RFID ecosystem experience[J]. IEEE Internet Computing, 2009, 13(3): 48—55.
- [5] Broll G, et al. Pervasive service interaction with the internet of things[J]. IEEE Internet Computing, 2009, 13(6): 74—81.
- [6] Kranz M, et al. Embedded interaction: Interacting with the internet of things[J]. IEEE Internet Computing, 2010, 14(2): 46—53.
- [7] Kortuem G, et al. Smart objects as building blocks for the inter-

- net of things[ J ]. IEEE Internet Computing, 2010, 14(1): 44—51.
- [ 8 ] 杜渐. 国内外物联网发展综述[ EB/OL ]. 上海情报服务平台, 2009.
- [ 9 ] 宁焕生, 等. 中国物联网信息服务系统研究[ J ]. 电子学报, 2010, 34(12A): 2514—2517.  
Ning Huan-sheng, et al. Research on China internet of things' services and management[ J ]. Acta Electronica Sinica, 2010, 34(12A): 2514—2517. (in Chinese)
- [ 10 ] 李洁, 高新波, 焦李成. 基于克隆算法的网络结构聚类新算法[ J ]. 电子学报, 2004, 32(7): 1195—1199.  
Li Jie, Gao Xin-bo, Jiao Li-cheng. A novel clustering method with network structure based on clonal algorithm[ J ]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(7): 1195—1199. (in Chinese)
- [ 11 ] 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, 2009, 29(6): 1—11.  
Sheng Su-bin, Fan Qu-li, Zong Ping. Study on the architecture and associated technologies for internet of things[ J ]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 2009, 29(6): 1—11. (in Chinese)
- [ 12 ] Miao Yun, Bu Yu-xin. Research on the architecture and key technology of internet of things applied on smart grid[ A ]. 2010 International Conference on Advances in Energy Engineering[ C ]. Beijing, China; Huazhong Normal University Press, 2010. 69—72.
- [ 13 ] 孙其博, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[ J ]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1—9.  
Sun Qi-bo, et al. Internet of things: Summarize on concepts, Architecture and key technology problem[ J ]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(3): 1—9. (in Chinese)
- [ 14 ] Chen Y, Qiao J H. Application analysis of complex adaptive systems for WSN[ A ]. 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling[ C ]. Taiyuan, China, 2010. 7. 328—331.
- [ 15 ] Jia X L, et al. An efficient anti-collision protocol for RFID tag identification[ J ]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(11): 1014—1016.
- [ 16 ] 李春芳, 等. 基于数据场的概率神经网络算法[ J ]. 电子学报, 2011, 39(8): 1739—1745.  
Li Chun-fang et al. Probabilistic neural network based on data field[ J ]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(8): 1739—1745. (in Chinese)
- [ 17 ] Zhu Q et al. IOT Gateway: Bridging wireless sensor networks into internet of things[ A ]. IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing[ C ]. Siena, Italy; IEEE Press, 2010. 347—352.
- [ 18 ] 刘化君, 刘传清. 物联网技术[ M ]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [ 19 ] Rolff W. Internet of things-need for a new legal environment[ J ]. Computer LAW Security Review, 2009, 25: 522—527.
- [ 20 ] Tan Lu, Wang Neng. Future internet: The internet of things[ A ]. 2010 Third International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering[ C ]. Chengdu, China; IEEE Press, 2010. 376—380.
- [ 21 ] Silva J S, et al. IP in wireless sensor networks issues and lessons learnt[ A ]. The third IEEE/ Create-Net International Conference on Communication System Software and Middleware[ C ]. Bangalore, India; IEEE Press, 2007. 496—502.
- [ 22 ] Luo J, et al. Wireless sensor network interconnection design based on IPv6 protocol[ A ]. Fifth International Conference on Wireless Communications[ C ]. Beijing, China; IEEE Press, 2009. 1—4.
- [ 23 ] Song H, et al. 6LoWPAN-based tactical wireless sensor network architecture for remote large-scale random deployment scenarios[ A ]. IEEE Military Communications Conference[ C ]. Boston, USA; IEEE Press, 2009. 1—4.
- [ 24 ] Jung W, et al. SSL-Based lightweight security of IP-based wireless sensor networks[ A ]. International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops[ C ]. Bradford, United Kingdom; IEEE Press, 2009. 1112—1117.
- [ 25 ] Liu Q et al. Key technologies and applications of internet of things[ J ]. Computer Science, 2010, 37(6): 1—4.
- [ 26 ] Pasha M A, et al. A novel approach for ultra low-power WSN node generation[ A ]. IET Conference Publications[ DB/OL ]. IET Digital Library, 2010(566). 204—209.
- [ 27 ] 王雪, 钱志鸿, 等. 基于二叉树的 RFID 防碰撞算法的研究[ J ]. 通信学报, 2010, 31(6): 49—57.  
Wang Xue, Qian Zhi-hong et al. Research on RFID anti-collision algorithms based on binary tree[ J ]. Journal on Communications, 2010, 31(6): 49—57. (in Chinese)
- [ 28 ] Correia A. PHANTOMS: Nanotechnology network for information processing and storage[ J ]. Nanotechnology, 2001, 12(2): 89—90.
- [ 29 ] Li Er-ping. Impact of nanotechnology on wireless communications[ A ]. IEEE 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications[ C ]. Hangzhou, China; IEEE Press, 2006. K31—K32.
- [ 30 ] Robert C. Challenges and opportunities of emerging nanotechnology for VLSI nanoelectronics[ A ]. 2007 International Semiconductor Device Research Symposium[ C ]. Maryland, 2007.
- [ 31 ] Gómez-Goiri A, et al. A triple space-based semantic distributed middleware for internet of things[ A ]. ICWE 2010 Workshops: International Conference on Web Engineering[ C ]. Vienna, Austria, 2010. 447—458.
- [ 32 ] Cardone G, et al. Translucent middleware approach to facili-

- tate WSN access management [ A ]. IEEE Symposium on Computers and Communications, Riccione [ C ]. Italy: IEEE Press, 2010. 595—598.
- [ 33 ] Rellermeyer J S, et al. The software fabric for the internet of things [ A ]. The Internet of Things-First International Conference [ C ]. Zurich, 2008. 4952 LNCS. 87—104.
- [ 34 ] Evdokimov S, et al. Comparison of discovery service architectures for the internet of things [ A ]. SUTC 2010 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing [ C ]. California, USA: IEEE Press, 2010. 237—244.
- [ 35 ] De L B, et al. Self-managed security cell, a security model for the internet of things and services [ A ]. 2009 First International Conference on Advances in Future Internet [ C ]. Athens, Greece: IEEE Press, 2009. 47—52.
- [ 36 ] Hamad F. Energy-aware security in M-commerce and the internet of things [ J ]. IETE Technical Review, 2009, 26(5): 357—362.
- [ 37 ] Sarma A C, et al. Identities in the future internet of things [ J ]. Wireless Personal Communications, 2009, 49(3): 353—363.
- [ 38 ] Jara A J, et al. A pharmaceutical intelligent information system to detect allergies and adverse drugs reactions based on internet of things [ A ]. 2010 Eighth IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops [ C ]. Mannheim, Germany: IEEE Press, 2010. 809—812.
- [ 39 ] Luigi A, Antonio I, Giacomo M. The internet of things: A survey [ J ]. Computer Networks, 2010. 2784—2805.
- [ 40 ] 彭清泉, 等. 无线传感器网络中自愈的群组密钥管理方案 [ J ]. 电子学报, 2010, 38(1): 123—128.  
Peng Qing-quan, et al. A self-healing group key management scheme in wireless sensor networks [ J ]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(1): 123—128. (in Chinese)
- [ 41 ] Rolfh W. Internet of things-new security and privacy challenges [ J ]. Computer LAW Security Review, 2010. 26: 23—30.
- [ 42 ] Jens-Matthias Bchli, Christoph Sorge, Dirk Westhoff. Initial observations on economics, pricing and penetration of the internet of things market [ J ]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2009. 31(2): 50—55.
- [ 43 ] 宁焕生, 徐群玉. 全球物联网发展及中国物联网建设若干思考 [ J ]. 电子学报, 2010, 38(11): 2590—2599.  
Ning Huan-sheng Xu Qun-yu. Research on global internet of things' developments and it's construction in China [ J ]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(11): 2590—2599. (in Chinese)

#### 作者简介



钱志鸿 男, 1957 年生, 吉林大学教授、博士生导师. 主要研究方向为基于蓝牙、ZigBee 等短距离无线通信技术的无线个域网、无线传感器网络、物联网协议构架及关键技术.

E-mail: dr. qzh@163.com



王义君 男, 1984 年生, 吉林大学博士研究生. 主要研究方向为无线传感器网络时间同步算法及路由策略, 物联网底层网络接入技术.

E-mail: wyjs-107@163.com