

# 物联网架构和智能信息处理理论与关键技术

赵志军<sup>1</sup> 沈 强<sup>1</sup> 唐 晖<sup>1</sup> 方旭明<sup>2</sup>

(中国科学院声学研究所高性能网络实验室 北京 100190)<sup>1</sup>

(西南交通大学移动通信省重点实验室 成都 610031)<sup>2</sup>

**摘 要** 物联网(Internet of Things, IoT)是一种通过各种接入技术将海量电子设备与互联网进行互联的大规模虚拟网络,包括 RFID、传感器以及执行器的电子设备通过互联网互联互通,将异构信息汇聚后共同完成某项特定的任务。为了解决物联网规模化运用中的关键技术,首先探讨了物联网与这些网络的区别,给出了物联网的定义、特征以及参考架构。同时,创新性地提出了区域服务器的概念,并通过本体论知识表达等方法的运用解决了物联网中的“信息孤岛”难题。智能信息处理是物联网的核心内容之一,而物联网的知识表达与情景感知等相关技术是物联网智能信息处理的核心内容。据此,着重分析研究了智能信息处理的信息空间定义、信息量化方法以及信息处理各阶段的主要问题及相应的解决办法。

**关键词** 物联网,传感网,信息处理,网络架构

**中图法分类号** TN929 **文献标识码** A

## Theory and Key Technologies of Architecture and Intelligent Information Processing for Internet of Things

ZHAO Zhi-jun<sup>1</sup> SHEN Qiang<sup>1</sup> TANG Hui<sup>1</sup> FANG Xu-ming<sup>2</sup>

(High Performance Network Laboratory, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)<sup>1</sup>

(Provincial Key Lab of Mobile Communications, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Internet of Things(IoT) is a virtual network which is dedicated to combine the Internet and a huge number of things together and those things are connected to the Internet via various technologies, e. g. , wired or wireless technologies. By connecting to the Internet, things, e. g. , RFID, sensors or actuators, could communicate with each other. Firstly, this paper introduced the characteristics, network architecture and the difference among IoT and other networks, e. g. , wireless sensor networks and RFID. To achieve the target of large-scale application, we proposed a general network architecture for IoT. Meanwhile, the concept of Regional Server was presented firstly in the proposed architecture to address the “Information Isolated Island” problem. Then, this paper claimed that semantic interoperability, knowledge presentation and context-aware technology are key technologies for IoT. Accordingly, this paper deeply investigated the key problems of intelligent information processing, e. g. definition of information spaces, quality of information and information processing technologies, in an extensive way.

**Keywords** Internet of things, Sensor networks, Information processing, Architecture

## 1 引言

物联网(Internet of Things, IoT)是一种通过各种接入技术将海量电子设备与互联网进行互联的大规模虚拟网络,包括 RFID、传感器以及其他执行器的电子设备通过互联网互联互通并将异构信息汇聚后共同完成某项特定任务<sup>[1]</sup>。物理对象被无缝连接到互联网,成为业务过程的积极参与者。物联网是未来互联网的重要组成部分。同时,物联网是一个动态的全球网络框架,具备基于标准和公有通信协议的自组织能力。其中物理的和虚拟的“物”具有身份标识、物理属性、虚拟

特性和智能接口,并和信息网络无缝整合。物联网将现实世界与虚拟网络世界完美结合,使整个现实世界成为物联网的应用工厂。原本不具有信息含义的高楼、桥梁以及商品,通过物联网技术,能很好地与计算机等互联网设备进行互联互通,从而创新性地为用户提供各类信息服务。

物联网的概念于 1999 年由美国麻省理工大学的 Kevin Ashton 教授提出<sup>[2]</sup>。2005 年欧洲 EPoSS 发布的“ITU 欧洲互联网报告 2005: 物联网”<sup>[3]</sup>将物联网列为热点研究内容。随后,该组织于 2008 年 5 月发布了“2020 年欧洲物联网规划”<sup>[4]</sup>,该规划主要针对基于 RFID 的物联网技术进行了阐述

到稿日期:2010-09-06 返修日期:2011-01-17 本文受国家重大专项(2009ZX03004-001),中科院知识创新工程方向性项目(KGCX1-YW-19, KGCX2-YW-149),中国博士后科学基金(20100470568),王宽诚博士后工作奖励基金资助。

赵志军(1972—),男,副研究员,硕士生导师,主要研究领域为宽带无线多媒体和物联网, E-mail: zhaozhj@hpn. ac. cn; 沈 强(1981—),男,博士,主要研究领域为多跳网络、物联网统一支撑技术与智能信息处理; 唐 晖(1970—),男,博士,研究员,主要研究领域为下一代互联网和新一代宽带无线移动通信; 方旭明(1962—),博士,教授,博士生导师,主要研究领域为宽带无线接入网、无线 Mesh 网络等。

和规划,重点指出了物联网在零售、后勤保障、医药行业、食品行业、健康、智能家居和智能交通等领域的巨大应用潜力。2009年9月该组织又发布了物联网发展路线图<sup>[1]</sup>,进一步描述了物联网的定义以及涉及的技术领域。该发展路线图将“物”的含义作了进一步的拓展,即从原来的RFID拓展到了传感器、执行器以及一些虚拟“物体”。而美国则分别进行无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)与RFID的相关研究,学术界和标准组织也逐渐关注大规模WSN以及WSN中的信息互操作等内容。日本与韩国分别提出了自己的物联网相关计划,如日本的U-Japan<sup>[5,6]</sup>和韩国的U-Korea<sup>[7]</sup>。中国也积极推进物联网的应用,于2006年发布了“RFID技术政策白皮书”<sup>[8]</sup>。与此同时,还将物联网应用列入“国家中长期科学技术发展规划(2006—2020年)”和“2050年国家产业路线图”。2009年,随着IBM提出“智慧地球”的概念,中国诞生了“感知中国”的物联网发展理念。与此同时,中国物联网研究发展中心与CCSA“泛在网”工作组TC10的成立推动了物联网在中国的发展。值得一提的是,业内人士认为,物联网将掀起全球的第三次信息产业革命。物联网发展的标志性事件如图1所示。

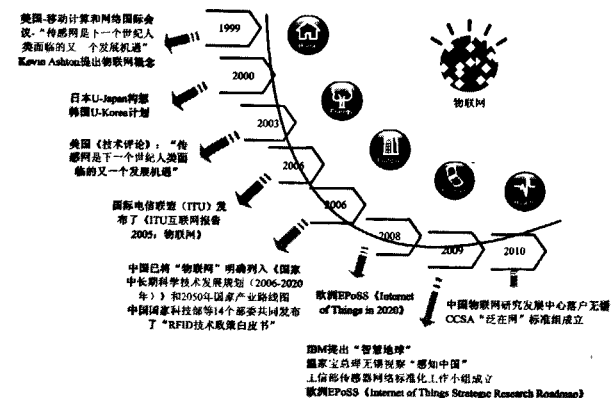


图1 物联网的发展过程

物联网获得学术界与工业界的青睐是因为物联网技术给人们提供了一种前所未有的信息收集手段。通过物联网技术,人们可以轻松地获得自然界的各类信息。从信息的角度来讲,整个地球就变成了物联网的信息工厂。过去一直将物理基础设施和IT基础设施分开:一方面是机场、公路和建筑物,另一方面是数据中心、传感器和RFID。在物联网时代,各类建筑将与芯片、互联网有效地整合。

## 2 物联网特点分析

当前物联网的研究尚处于起步阶段,距物联网大规模应用还有一段距离。WSN、RFID以及泛在网与物联网有着千丝万缕的联系,当前学术界与工业界对这几个网络概念的区分并不清晰。本文将对各个网络的特性进行分析,从而使物联网的定义更加清晰。

### 2.1 物联网与传感网的区别

文献[9]指出WSN与传统Ad-hoc网络的区别在于:WSN中传感节点较传统Ad-hoc网络的数量多、密度大,且有失效的可能;WSN的拓扑频繁变化,可使用广播服务,节点存储能力和能量均可能受限,且可能没有统一的ID标识。通过无线WSN的这些特点可知,WSN更关注内部协议设计的合

理性和运行效率。后续WSN的研究逐渐延伸到语义互操作和信息融合领域<sup>[10,11]</sup>,而语义互操作和信息融合均是物联网的重要特征,所以作者认为WSN是物联网的基础技术之一。因此,物联网必会延续WSN的研究问题。但是物联网除了这些研究内容外还有自身特有的研究范围,本文稍后将对物联网的特点进行深入的探讨。

### 2.2 物联网与RFID的区别

欧洲物联网早期报告<sup>[1,4]</sup>重点介绍了RFID作为物联网的典型应用。毫无疑问,RFID是物联网的重要组成部分。受文献[1,4]的影响,早期物联网相关学术论文<sup>[12,13]</sup>更多地关注RFID的应用。然而后来的欧洲物联网发展路线图<sup>[1]</sup>拓展了物联网的范畴,将WSN以及执行器列入了物联网的研究内容。可见,物联网的定义远大于RFID。

### 2.3 物联网与泛在网的区别

物联网强调物体与物体之间的互联互通,而泛在网络更强调无处不在。可见,泛在网的定义要大于物联网的定义。部分学者认为,物联网重点强调物体与物体之间的通信,而泛在网在物体与物体的通信中引入了人的因素,从而使泛在网在物与物之外还包括人与物、人与人之间的通信。多方面的因素困扰着人们对物联网与泛在网的理解:一方面,人与人之间的通信在信息领域内反映在物与物之间的通信上;另一方面,物与物之间的通信的最终目的是为人类服务的,即物与物之间的通信必是物与人或者人与人之间通信的反映。因此,从表现形式上根本无法将两个网络明确地区分开来。所以,文献[14]认为物联网与泛在网在本质上并没有区别。作者认为,物联网更强调物体间通过协作,完成某项既定的任务;而泛在网更强调无处不在以及人类行为的相关分析与研究。综上所述,物联网与泛在网研究范围相似,只是各有侧重。

### 2.4 物联网的技术特点

通过以上分析,本部分主要介绍物联网的技术特点。

#### (1) 离线特性

物联网中的物体有着极强的离线特征,该特征由多种原因造成。案例一,RFID不在读卡器读取范围内时,无法将自身的信息上报;案例二,在检查一个飞机装置时,执勤人员的手持设备在靠近物体时即可检查相应设备是否正常工作。稍后回到控制室,手持设备利用控制室的无线或者有线网络完成设备信息的上报。该过程实现了飞机上各装置的网络连接过程。从技术上讲,该过程与大延时网络(Delay Tolerant Networks, DTN<sup>[15-17]</sup>)有着诸多的相似之处。这两个实例中,物体均存在明显的离线状态。可见,物联网的离线状态与WSN中讨论的离线状态有着较大的区别,因为物联网中的离线状态并非仅由数据链路的拥塞或者节点失效造成。

#### (2) 海量设备

随着电子技术,尤其是微机电系统(MEMS)技术的发展,电子器件的数量日益增多。IDC的John Gantz预测,2015年全球将有150亿的电子设备通过网络进行互联。设备通过各种途径接入互联网以后,如何对这些设备进行管理,将使原本不堪重负的互联网面临更大的挑战。对物联网设备进行UID(Unique ID)分配,是物体互联互通的基础技术。如果没有UID,那么物体之间就无法进行识别,更无法达到统一管理和维护。

### (3)海量信息

物联网“物体”的计算、存储与处理能力各异,“物体”种类从简单的 RFID 射频卡到具有较强能力的视频感知器。收集到的信息也各不相同,如何合理地对这些信息进行表达、存储、检索、共享和处理是物联网面临的一大难题。WSN 仅在一些小规模应用中得到运用,在这些应用中,信息处理可以简单地分为前台处理和后台处理。对物联网而言,随着应用规模的增大和应用种类的增多,分布式存储和分布式计算处理等成为物联网迫切需要解决的难题。

### (4)语义互操作

欧洲 EPoSS 发布的物联网发展路线图<sup>[1]</sup>指出,语义互操作是物联网研究的核心内容之一。该问题同样也是互联网亟待解决的问题之一,互联网中因为语言表达的不规范造成了不同系统信息互通的困难,学术上将该问题称为“信息孤岛”。物联网从传统 WSN 的小规模应用发展到大规模应用以后,语义互操作问题就会变得越来越明显。比如在物联网中有一个温度传感器,通过温度的感知会上报一个温度值。然而,温度值仅是一个数据,如果没有附加的语义说明,该数值将无法被其他系统所使用。这也是当前 WSN 应用系统中产生“信息孤岛”的根本原因。国际组织尝试着通过本体论的知识表达<sup>[18]</sup>等手段来解决信息互通问题,并成立了专门的工作组<sup>[19]</sup>。

## 3 物联网组网技术分析

传感器、RFID 以及执行器等“物体”,通过有线或者无线方式接入。物体类型、接入方式以及信息的异构特性决定了简单的网络架构很难满足物联网的需求。本文结合现有的组网技术,对物联网的组网技术进行简要的阐述。

### 3.1 物联网典型组网技术

近年来,WSN 或 RFID 与互联网的有效整合问题获得了不少学者<sup>[20-22]</sup>以及标准化组织<sup>[23]</sup>的关注。物联网典型组网技术可以分为基于重叠方法的组网技术和基于网关的组网技术。

#### 3.1.1 基于重叠方法的物联网组网技术

基于重叠方法的物联网组网技术主要是通过不同的方式将 IP 和 WSN 的协议栈进行融合,从而在互联网的帮助下实现多个 WSN 的互联互通。

对于物联网来讲,节点类型存在着异构特性。该异构特性允许某些能力强的节点支持 IP 协议栈,并承担着相对较多的传输任务。对某些特定的应用,这种设计有着更多的理由。例如案例一,如某节点为执行器,需要为该节点分配 IP 地址,从而实现该节点的远程控制;案例二,在分簇传感网路由协议中,簇头供电及处理能力相对较强。对于这些簇头,往往在 WSN 协议栈的基础上新增一个 IP 重叠层。该方法需要在多跳环境中的 IP 传感节点之间建立一个类似虚拟隧道的通信信道,并在此通道的基础上实现一种以地址为中心的路由<sup>[20,24]</sup>。如果传感网的业务量较大,则可以利用 IP 节点之间的非 IP 节点来建立多径,从而达到负载均衡的目的。该方法通常使用直接扩散(Directed Diffusion, DD<sup>[25]</sup>)或者 ACQUIRE(A directed-query approach<sup>[26]</sup>)等途径来建立一个 IP 重叠层。其中,DD 是一种以数据为中心的通信方法,适合业

务量较大的情况。ACQUIRE 是一种有效的资源发现方式,较泛洪法能以数据延时换取能量开销,该方法适合单次但复杂的数据查询。

重叠方法的另外一种表现形式是在 IP 协议栈之上完成 WSN 数据传输<sup>[27]</sup>。WSN 数据报文到达互联网以后,将被重新打包成 TCP/IP 数据报文,再投递到指定的 IP 节点。互联网上的虚拟节点和重叠网关是该方案的重要组成部分。虚拟节点在 TCP/IP 之上实现 WSN 协议,并相互组网,形成一个处于互联网之上的虚拟网络。虚拟节点因为具有 WSN 协议栈,可以正确解析 WSN 数据报文。重叠网关同时具备 TCP/IP 和 WSN 协议栈,通过简单设置即可完成数据格式的转换,这种方式较应用层格式转换或者是 DTN 网关的转换方法更简单。重叠网关简单地将接收到的 WSN 数据报文打包为 TCP/IP 数据报文,不需要额外的转换操作。虚拟节点可以通过软件的方式来实现,因此该方法可以轻松实现远距离传感节点间的互联互通。但是该方法在物联网的可扩展性上存在着一些问题:WSN 之间的通信协议主要针对信息采集,而 TCP/IP 则面向数据传输,这种简单的结合方式并不适合物联网。例如两个 WSN 通过互联网彼此连通后,若某子网的泛洪操作直接影响到另外一个子网,那么该操作在能量消耗上无法满足物联网的要求,在信息传输上又浪费了宝贵的带宽资源。

#### 3.1.2 基于网关的物联网组网技术

因为物联网的接入部分与互联网很可能采用不同的协议,在它们之间必定存在网关节点,负责协议的转换和消息的转发等。对于一个简单的应用层网关结构,网关从一侧(比如互联网)收到某查询消息以后,首先对其进行相应的格式转换,再以另一侧的信令格式转发该数据请求。该结构中,网络互通在应用层网关完成,开发成本较低。同时,感知区域和互联网可以通过该网关达到彼此隔离的目的,两侧的协议相互独立,从而增加了协议设计的灵活性。该网关较适合某些特定应用,并不适合一些实时性较强的应用。

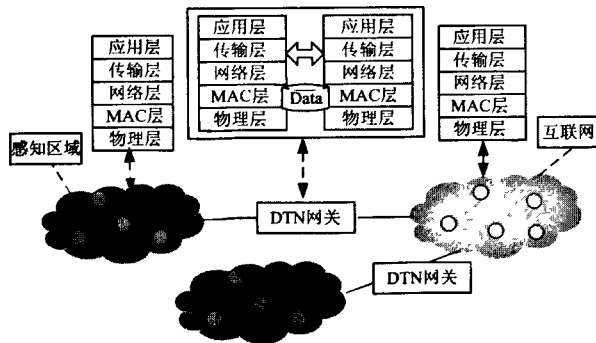


图2 基于DTN网关的组网结构

基于DTN网关的组网技术<sup>[17,28,30]</sup>在网关节点处新增了存储功能,其组网结构如图2示。DTN网关主要完成数据存储与转发操作,该设计具有数据延时可变的特性。文献<sup>[17]</sup>在原有的协议中新增了 Bundle 层,用于支持异构网络的连接。如果感知链路因为某些特殊的原因无法保持连接,DTN网关将缓存该数据,待链路畅通以后再进行数据传输。在物联网中,该方法有3大优势:1)DTN网关利用自身缓存机制能很好地处理物联网中物体的离线状态;2)该方法能很好地

支持异构网络的连接;3)DTN 网关结构实现成本低,可以在很大程度上保持两端网络原有的协议栈结构。因此,DTN 网关结构较适合物联网。同时,在该结构上稍加修改,即可以满足文献[29]提出的物联网数据分布式存储与分布式计算要求,以及后续小节所讨论的智能信息处理<sup>[31]</sup>需求。另外,系统设计者还可以将 DTN 网关作为 Publisher/Subscriber 系统<sup>[32]</sup>中的 Proxy brokers。

### 3.2 物联网典型网络分层结构

物联网与泛在网络有着密切的联系<sup>[14]</sup>,其分层结构与泛在网络也十分相似。物联网 5 层结构包括感知层、接入层、网络层、支撑层和应用层,各层之间的关系如图 3 所示。感知层主要完成信息的收集与简单处理,部分学者将该层称为感知延伸层,该层由传统的 WSN、RFID 和执行器组成。感知层的研究内容主要是如何在节能的同时达到节点小型化和智能化的目标,以及如何利用可再生能源等内容。与此同时,传统 WSN 的多跳等研究内容都可以在该层得到体现。接入层主要完成各类设备的互联网接入,该层重点强调各类接入方式,比如 3G/4G、Mesh 网络、WiFi、有线或者卫星等方式。网络层为原有的互联网,主要完成信息的远距离传输等功能。该层尚有许多有待进一步深入研究的内容,比如物联网内容分发等技术。支撑层又称中间层或者业务层,主要完成 3 部分功能:对下需要认知网络资源,进而达到自适应传输的目的;其核心内容是完成信息的表达与处理,最终达到语义互操作和信息共享的目的;该层对上还需要提供统一的接口与虚拟化支撑,虚拟化包括计算虚拟化和存储虚拟化等内容,较为典型的技术是云计算。应用层主要完成服务发现和服务呈现的工作。

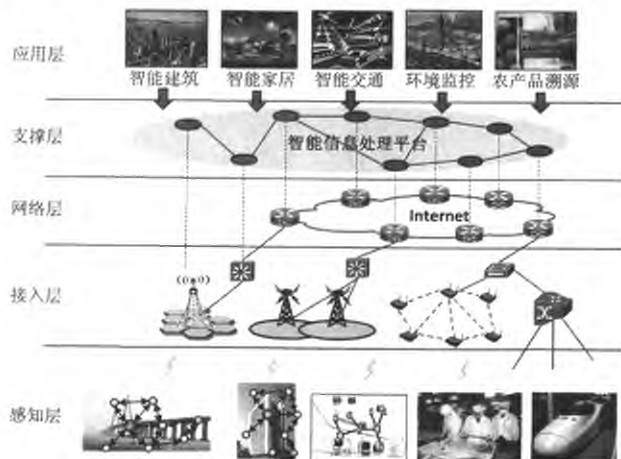


图 3 物联网典型网络分层结构

由文献[1]可知,感知层和支撑层技术不够成熟,大大限制了物联网的应用和推广,因此这两层成为当前物联网研究的重点。感知层要求加快各类器件的研制、新传输技术和新能源技术的应用。支撑层则要求更灵活的智能信息处理、SOA 和网络安全等技术。

### 3.3 物联网参考架构

通过之前的描述可知,网关、数据分布式存储与计算、语义互操作等技术均为物联网迫切需要解决的问题。什么样的物联网组网架构才能使这些技术找到对应的位置并获得具体应用?基于作者前期的研究工作,本文提出了如图 4 所示的物联网参考架构。

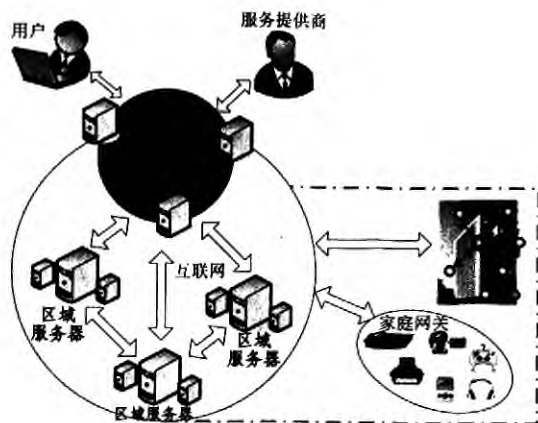


图 4 物联网参考架构

在图 4 所示的参考架构中,底层传感器的协议与互联网的传输协议可能存在较大的差别,所以在两个网络协议之间存在一个家庭网关。家庭网关负责小范围内节点的接入。因为传感器或者执行器有可能不支持 IP 协议,所以家庭网关需要同时支持 IP 与 ID 传输协议。另外,物体可能使用多种物理层传输方式,比如有线、WiFi、Zigbee 或者 Bluetooth,所以家庭网关还必须具备异构网络接入的功能。在各种异构同频无线传输方式共存的情况下,如何减小各种无线传输方式之间的干扰尤为重要,比如 Zigbee 和 WiFi 共存时的干扰问题<sup>[33,34]</sup>。引入物体移动性以后,网络架构中还可能引入接入网关(位于家庭网关与区域服务器之间),该接入网关主要负责更大范围内节点的移动性管理和已有物联网设备的管理。当然,如果家庭网关功能足够强大,则在网络扁平化思想的指导下,可以直接在家庭网关中完成物体的移动性管理。从之前讨论的物联网组网技术来看,基于 DTN 的网关较适合物联网的体系架构,因此这里所讨论的家庭网关可以按 DTN 的方式实现。然而,为了满足一些实时性较强的应用(比如执行器的控制和报警等),家庭网关必须具备区分优先级的数据传输功能。

区域服务器主要负责传感器等物体的信息收集、存储与处理工作。随着物联网规模的增大,信息也将达到前所未有的数量,因此分布式数据存储是解决海量信息的唯一办法。有了区域服务器以后,语义互操作和信息的分布式计算等问题就有了一个很好的实现平台。基于某些计算分解算法,可以将一些只与本地信息相关的计算或者一些分解后的运算交予区域服务器来实现,从而达到物联网分布式计算的目的。然而,物联网海量信息处理和语义互操作等技术对物联网来讲是一些新兴技术,尚有许多问题有待解决,这也是物联网在学术界受到广泛关注的根本原因。作为本文研究的重点,稍后将给出区域服务器的内部参考结构。

以下章节将根据图 4 所提出的参考架构来深入探讨智能信息处理的相关研究内容。

## 4 智能信息处理的目标与需求

### 4.1 信息处理目标

物联网智能信息处理的目标是将 RFID、传感器和执行器信息收集起来,通过数据挖掘等手段从这些原始信息中提取有用信息,为创新性服务提供技术支持。从信息流程来看,物联网智能信息处理分为信息获取、表达、量化、提取和推理等

阶段。物联网技术能否得到规模化应用,很大程度上取决于这些问题是否得到了很好的解决。因此,本节将重点介绍与之相关的语义互操作、传感器协同感知和情景感知技术。

语义互操作指在不同的系统之间可以自由地进行信息交互,不存在语义上的障碍。物联网必定是各类异构网络的融合,而本文所讨论的异构包括传输层面的异构和语义层面的异构。传输层面的异构主要是不同硬件系统或者协议栈之间无法进行数据交互的情况。语义层面的异构是指那些在一个网络中,因为不同系统对某些词汇的定义不同而造成彼此无法沟通的情况。当前的物联网应用均是一些小规模的应用,系统间因为定义的语义结构不同而无法进行语义上的通信,从而限制了物联网的规模化应用。而语义表达是语义互操作的基础,只有在定义了统一且恰当的语义表达以后才能从真正意义上实现语义互操作。知识表达的模型较多,通常包括关键值模型、模式识别模型<sup>[35,36]</sup>、传统 E-R 模型<sup>[37]</sup>、面向对象模型<sup>[38]</sup>和本体模型。文献[39,40]对基于知识表达的上下文模型进行了总结,均认为基于本体论的知识表达是最具有表达能力的知识表达模型,能够满足几乎所有的表达需求。本体论表达方法主要用于描述概念和概念之间的关系<sup>[41]</sup>。使用本体论进行知识表达时,需要满足以下几点要求:简单,概念和概念之间的关系必须尽可能简单,从而便于应用开发软件理解;灵活性和扩展性,通过简单的操作即可增加一些内容元素和关系;通用性,应当支持不同类型的内容;表达能力强,可用来描述尽可能多的内容及状态。文献[42-48]等均针对不同的需要提出了相应的本体论知识表达方法,然而这些方法仅针对某些特定的目的或者应用,并不普遍适用于物联网的知识表达需求。具有普适性要求的物联网数据表达方法不能因为应用或者目的差异而设计出完全不同的表达方法,无法达到语义互操作的最终目标。知识表达与关联检索有着密切的联系,在知识表达的帮助下可以大大提高检索的查准率,相关研究成果有 OntoBroker 系统<sup>[49]</sup>、Cyc 项目<sup>[50]</sup>、基于本体论的结构进行查询扩展<sup>[51]</sup>、基于本体论的注释进行查询扩展的方法<sup>[52]</sup>和其他检索技术<sup>[53-58]</sup>。因此,为物联网制定恰当的知识表达方法,是解决物联网语义互操作问题的核心研究内容。互联网的知识表达已经达到了白热化的地步,相关标准层出不穷<sup>[59-63]</sup>,而物联网的相关研究正处于起步阶段,尚无法满足物联网的需求。

传感器协同感知指多个相同或者不同的传感器之间协同工作,共同完成某事件的探测或者感知任务。文献[64]对多传感器协同感知进行了详细的阐述。多传感器协同感知有以下两大好处:第一,同时使用多个传感器(比如跟踪物体移动的雷达),感知信息组合以后将在很大程度上提高对目标的位置和速率的估计精度。第二,通过多传感器协作来提高物体的可观察性,比如通过多个传感器观察来进行互补,最终确定物体的状态。例如,同时使用多个视频感知器监测某运动目标,因为从不同的角度来观察目标,可以更容易地识别目标。同构协作的相关研究较多,比如通过多个声音传感器的协作对声源进行定位<sup>[65,66]</sup>以及多个视频传感协作达到运动目标动态跟踪<sup>[67]</sup>等研究。异构协作需要具体的应用作为牵引,根据具体的需求进行协同感知<sup>[68,69]</sup>。随着物联网应用种类的增多,异构协作的研究也必将迈上一个新的台阶。

情景感知又称为上下文感知,该技术在互联网、泛在网和

物联网中均受到了广泛的关注。情景感知有很多定义<sup>[70,71]</sup>,总结来说是利用人机交互或传感器提供给计算设备关于人和设备环境的情景信息,让计算设备给出相应的反应。事实上,情景感知与多传感器协同感知没有本质的区别,只是情景感知的输入范围更广。多传感器协同感知强调输入仅为传感器的感知信息。情景感知的输入信息可以是感知信息,也可以是用户的时间表或者用户反馈,甚至是某条数据链路的状态信息。文献[40,72]对情景感知做了深入的分析与概括,并给出了情景感知内容空间的定义及具体操作。

## 4.2 信息处理对区域服务器的需求

物联网智能信息处理必须考虑“物体”的计算能力。因为传感节点计算能力有限,无法将复杂的信息处理过程交给传感器完成。在智能信息处理时,应当将计算任务交给具有较强计算能力的网关或者是其他网络组件来完成。另外,还必须考虑传感节点的功耗问题。如果原始数据的传输比直接在传感器上进行处理后再进行传输所消耗的电能多,那么在传感节点计算能力允许的条件下,应当考虑将部分信息处理功能交由传感节点完成。这样既可以达到节能的目的,也可以达到分布式计算和节省带宽资源的目的。

存储能力方面,物联网以前所未有的渠道采集自然界的各类信息,这些信息的存放位置直接影响着信息处理的位置。引入视频等特殊传感器以后,该问题将变得更加突出。受传感器存储能力的限制,在物联网架构中需要专门设置信息存储服务器来存储信息。因此,智能信息处理的最佳位置就应当在这些存储服务器上。如果将整个网络的信息进行集中式存储,必定导致系统的可扩展性减弱,因此必须对数据进行分布式存储。

规模化问题上,以往 WSN 的应用均是一些小规模应用,主要原因是系统之间无法进行信息互通,或者信息互通将付出极大的代价。物联网的提出正是为了解决 WSN 规模化的问题。信息分布式存储以后,以往不同系统的数据即可以存放在同一存储服务器上,这为系统信息互通和共享提供了方便。不同系统间的数据表达可能存在差异性,这就需要普适的数据表达方法。有了普适的数据表达方法以后,物体之间便有了共同的语言,这样即达到了语义互操作的目的。只有解决了语义互操作问题,才能使用物联网得到规模化应用。

通过以上分析可知,图 4 提出的物联网体系架构能够很好地满足物联网智能信息处理的需求。作者提出区域服务器的内部结构,如图 5 所示。图中,中心控制器直接与区域服务器的 ID 管理模块相连,从而实现物体的寻址工作。同时,ID 管理模块与本地存储模块直接与家庭网关相连,本地存储负责将家庭网关采集的数据进行本地存储。为了便于外部系统对数据的理解,数据存储以后需要使用知识表达方法对数据进行表示。知识表达可以认为是将一个原本不具有含义的数字打上语义标签,说明其数据来源和可信度等内容,最终形成一个独立的语义单元。之后,该信息即可对用户或者运营商提供主动报告与被动查询服务。与此同时,这些语义单元还可以作为信息融合模块的输入,信息融合可以获取这些数据中的隐藏信息,为服务提供商提供决策支持。系统运行初期,因为样本数据较少,表达后的数据将直接输入运营管理系统进行处理。如果运营管理系统是当前较为成熟的信息处理系统,那么整个数据处理流程就和当前成熟的信息处理方法一



致,因此区域服务器具有向下兼容的优点。待技术成熟以后,运营管理系统才将自身的信息处理方法复制到各个区域服务器,最终实现分布式计算。此外,中心控制器和运营管理系统还需要具备 ID Server<sup>[73]</sup>、AAA 服务<sup>[74]</sup>、计费、营帐、虚拟网络管理、安全与 QoS 策略管理及运营商的营业、客服、呼叫中心等支撑平台的接口功能。区域服务器与云计算紧密相连,如何将区域服务器的资源进行虚拟化等问题,尚需要深入的研究<sup>[75,76]</sup>。

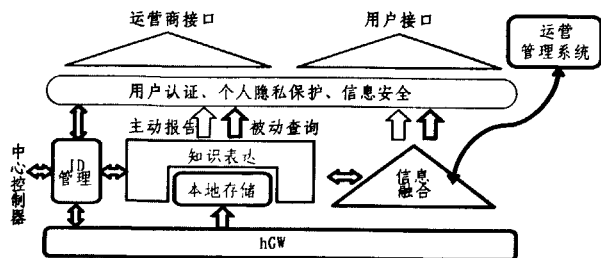


图5 区域服务器内部结构

## 5 智能信息处理的途径与方法

物联网智能信息处理同互联网中的其他智能信息处理方法有很多相似之处。同时物联网也有自身的特点,比如物联网内传感节点所采集的信息具有明显的时间先后关系。因此,物联网中的信息处理较互联网中的信息处理所面临的挑战会更大。本文将从信息空间定义、信息量化和数据融合方法等方面对物联网智能信息处理作详细的介绍。

### 5.1 信息空间的定义

智能信息处理首先需要将传感器所采集到的数据作为输入,然后才能进行后续的操作。因此,首先需要建立信息空间模型,将采集到的信息映射到这些信息空间中。文献<sup>[77-79]</sup>均对信息空间以及空间内的基本操作进行了定义。从本质来讲,都大同小异。简单来讲,需要假设一系列输入变量,每个变量与一个传感器相对应。然后,定义一系列的事件,这些事件即为用户所能认知的事件,比如某房间是否有人。通过各种数学手段,完成从输入到各事件是否发生的转换,从而达到智能信息处理的目的。当然,判断某事件是否发生,只是智能信息处理的一个应用,更重要的是,可通过这些手段去判断为用户提供何种服务才能使用户体验最好。这种对未来事件的判断将涉及到智能信息处理中的推论问题。信息空间的定义研究相对比较成熟,因此研究者们可以很容易地找到适合特定应用的定义方法。

### 5.2 信息量化

信息量化主要完成传感器的选择问题<sup>[77,79]</sup>。当大量传感器可供选择时,系统必须从这些传感信息中选择与任务密切相关的信息来进行融合。若选择的传感信息集合过小,将无法达到既定的目标,即无法完成某事件是否发生的准确描述;反之,若信息集合过大,浪费计算资源的同时,还增加了计算时延。因此,需要通过信息量化工具,针对不同的任务,对信息进行量化。信息量化后,再从海量信息中选择最合适的信息集合来进行数据融合。本文认为,信息量化可以分两步:首先,系统利用本体论的关系属性来对信息进行粗粒度的量化,过滤那些最不相干的传感信息。比如,某事件需要探测某房间的状态,那么处于其他地方的传感器就明显和该事件无关。然后,采用与文献<sup>[77,79]</sup>类似的办法,通过信息论中对信息

量的定义对信息进行精确量化。信息量化以后是信息集的选择和信息处理。当然,在实际应用中还有许多其他信息集的选择办法,比如事先将传感器和所支持的事件进行绑定。物联网当前的信息选择方法较为单一,随着物联网海量信息的出现,信息量化是信息选择的必经之路。

### 5.3 智能信息处理方法

目前,智能信息处理的应用已经从单纯军事上的应用渗透到其他应用领域:医学图像处理与诊断系统、智能交通、智能建筑等。智能信息处理的应用范围日益广泛,在一些实际应用中也取得了相应的成效。随着人工智能技术的发展,智能信息处理在朝着智能化、集成化的趋势发展。信息处理的目的是将选择出来的信息集作为输入,通过各种信息处理方法以后,达到某事件的发生概率。当前智能信息处理的研究主要集中在动态贝叶斯网络<sup>[80]</sup>、扩展的卡尔曼滤波<sup>[81]</sup>、D-S 证据理论<sup>[82]</sup>和粗集理论<sup>[83]</sup>。基于动态贝叶斯网络的智能信息处理是从贝叶斯网络演变而来。贝叶斯网络可以很好地处理各事件之间的概率关系,通过条件概率来建立各隐藏变量之间的关系。动态贝叶斯网络在原有贝叶斯网络的基础上新增了时间轴,因此前一时刻的事件发生概率会直接影响下一时刻该事件的发生概率。根据应用准确生成贝叶斯网络以及根据不断丰富的训练集实现网络的自学习,是贝叶斯网络高效工作的关键<sup>[84-86]</sup>。动态贝叶斯网络属于一个稍微复杂的动态空间模型,与之相似但较为简单的还有隐马尔科夫链<sup>[87]</sup>和卡曼滤波模型<sup>[88]</sup>。智能信息处理需要自动完成整个网络的创建和各变量之间的概率分布。值得一提的是,智能信息处理应当时刻考虑物联网具有能量限制的特点。具体应用中,如果某事件的发生或者某传感状态的改变才可能引发另一事件,那么如果原因事件没有发生,系统就没有必要去判断结果事件是否发生。该操作可以很好地为传感器节点节省能量,同时可以减小系统计算开销。例如,在智能家居中,如果门窗都没有开,那么就没有必要监测入侵事件是否发生。在动态贝叶斯网络中,这种情况可以通过条件概率来刻画。

智能信息处理还包括其他一些信号处理方法,这些方法主要是针对一些特殊的应用。比如石油管道监控的物联网应用中,需要实时地判断石油管道是否发生泄露。一旦泄露发生,需要准确地判断出在什么地方发生了泄露。在该实例中,传感器采集来的是一些振动信号,这些振动信号反映了不同的机械波传播模式,通过对振动信号做快速傅里叶变换,将根据破裂管道时和正常管道的信号差异来进行异常检测,进一步即可计算出破裂位置<sup>[89]</sup>。

传感器采集的信息种类繁多,不同的应用需要处理的信息也各不相同。情景感知为物联网中智能信息处理技术的又一称呼,该方法强调如何根据判断时刻的情景信息来进行决策和推理。现有研究中,有两种常用的情景感知系统结构:直接访问方法和中间件方法。直接访问传感器的方法经常用于内嵌传感器的设备,应用程序直接从传感器中获取所需信息,传感器与应用程序耦合度高,不易于扩展。基于中间件的方法是在情景感知系统中引入分层结构,它位于下层传感器与上层应用之间,向上屏蔽底层传感器细节,提供统一的情景信息访问接口;向下驱动物理或逻辑传感器采集信息。当前主要的中间件技术有 CoBra<sup>[90]</sup>、Gaia<sup>[91]</sup>、Context Toolkit<sup>[92]</sup>、CAMUS<sup>[93]</sup>、CAMidO<sup>[94]</sup>、OSGI<sup>[95]</sup>。

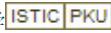
**结束语** 本文给出了物联网的定义,并与其他网络的对比给出了物联网的一系列特性。针对物联网的海量信息,本文对物联网的架构设计进行了分析研究,提出了物联网参考架构,指出采用分布式存储与分布式计算的数据处理办法是物联网的必经之路。结合物联网的网络架构,本文还详细分析了物联网中智能信息处理必须完成从知识表达到协同感知,再到情景感知的发展路线。最后,给出了物联网智能信息处理的完整过程,并介绍了一些智能信息处理的理论。

## 参考文献

- [1] Vermesanet O, et al. Internet of Things Strategic Research Roadmap[R]. EPoSS, Sep. 2009
- [2] 王世彤,邢晓江,李伟华. 泛在网业务体系架构、标准化及关键技术问题[J]. 通信技术与标准化, 2010(1): 44-48
- [3] ITU Internet Reports 2005. The Internet of Things[EB/OL]. www.itu.int/internetofthings/, 2010
- [4] Aigner M, et al. Internet of Things in 2020[EB/OL]. EPoSS, May 2008
- [5] MIC. Information and Communications in Japan 2006 Feature: Ubiquitous Economy Ministry of Internal Affairs and Communications[EB/OL]. July 2006
- [6] Gothenberg A. Japan's IT strategy for 2010-a ubiquitous network society[EB/OL]. ITPS, May 2007
- [7] Rhee C. u-Korea[EB/OL]. www.obl.giti.waseda.ac.jp/ITU/2004/documents/PS4-2.pdf, 2010
- [8] 中华人民共和国科学技术部等. 中国射频识别(RFID)技术政策白皮书[R]. 2006
- [9] Akyildiz I F, Wang X, Wang W. Wireless mesh networks: a survey[J]. Computer Networks, 2005, 47(4): 445-487
- [10] Botts M, Percival G, Reed C, et al. OGC Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture [C] // Lecture Notes in Comput Science, LNCS 4540, Aug. 2008: 175-190
- [11] Sheth A, Henson C, Sahoo S. Semantic Sensor Web[J]. IEEE Internet Computing, 2008, 12(4): 78-83
- [12] Michael M, Darianian M. Architectural solutions for mobile RFID services for the internet of things[C]//IEEE Congress on Services-Part I July 2008: 71-74
- [13] 宁焕生,张瑜,刘芳丽,等. 中国物联网信息服务系统研究[J]. 电子学报, 2006, 34(12A): 2514-2517
- [14] Ubiquitous Sensor Networks (USN); ITU-T Technology Watch Briefing Report Series (No. 4)[EB/OL]. www.itu.int, 2010
- [15] Cerf V, et al. Delay-Tolerant Network Architecture[EB/OL]. DTN Research Group Internet Draft, Mar. 2003
- [16] Warthman F. Delay-Tolerant Networks (DTNs): A Tutorial [R]. IPN Technical Report, Mar. 2003
- [17] Fall K. A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internet[C]//ACM SIGCOMM'03, Aug. 2003: 27-34
- [18] Zhao Y, Dong J, Peng T. Ontology Classification for Semantic-Web-based Software Engineering[J]. IEEE T on Services Computing, 2009, 2(4): 303-317
- [19] Sensor Standards Harmonization Working Group[EB/OL]. http://marinemetadata.org, 2010
- [20] Zhang M, et al. An Extensible Interworking Architecture (EIA) for Wireless Sensor Networks and Internet[C]//APNOMS'06, Sep. 2006
- [21] Sung J, et al. Internet Metadata Framework for Plug and Play Wireless Sensor Networks[C]//IEEE SAS'09, Feb. 2009
- [22] Zuniga Z M, Krishnamachari B. Integrating Future Large-scale Wireless Sensor Networks with the Internet[R]. USC, Computer Science Technical Report 03-792, 2003
- [23] Wobischall D. Networked Sensor Monitoring Using the Universal IEEE 1451 Standard[J]. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 2008, 11(2): 18-22
- [24] Bai J, Zang C, Wang T, et al. A Mobile Agents-based Real-time Mechanism for Wireless Sensor Network Access on the Internet [C]//IEEE ICIA'07, Aug. 2006: 311-315
- [25] Intanagonwiwat C, Govindan R, Estrin D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks[C]//ACM/IEEE MobiCom'00, Aug. 2000
- [26] Sadagopan N, Krishnamachari B, Helmy A. The ACQUIRE Mechanism for Efficient Querying in Sensor Networks[C]//IEEE SNPA'03, May 2003
- [27] Dai H, Han R. Unifying Micro Sensor Networks with the Internet via Overlay Networking[C]//IEEE Emnets-I, Nov. 2004
- [28] Dunkels A, Alonso J, Voigt T, et al. Connecting Wireless Sensor networks with TCP/IP Networks[C]//WWIC'04, Feb. 2004
- [29] Gibbons P B, et al. IrisNet: An Architecture for a World-Wide SensorWeb[J]. IEEE Pervasive Computing, 2003; 2(4)
- [30] Chen Y, et al. Integrated Wireless Access Point Architecture for Wireless Sensor Networks[C]//ICACT'09, Feb. 2009
- [31] Vazquez J I, et al. Flexeo: An Architecture for Integrating Wireless Sensor Networks into the Internet of Things[C]//UCAmI'08, Sep. 2008: 219-228
- [32] Jin M, et al. A Data Dissemination Model Base on Content-based Publish/Subscribe Paradigm in Large-scale Wireless Sensor Networks[C]//IEEE WCNC'09, Apr. 2009: 1-6
- [33] Razvan M, Andreas T. Minimising the effect of WiFi interference in 802. 15. 4 wireless sensor networks[J]. International Journal of Sensor Networks, 2008, 3(1): 43-54
- [34] Soo Y S, Sunghyun C, Hong S P, et al. Packet Error Rate Analysis of IEEE 802. 15. 4 Under IEEE 802. 11b Interference[J]. Wired/Wireless Internet Communications, 2005, 3510: 279-288
- [35] CC/PP Information Page[EB/OL]. http://www.w3.org/Mobile/CCPP/
- [36] User Agent Profile, Approved Version 2. 0[EB/OL]. http://www.openmobilealliance.org/technical/release\_program/uap\_v2\_0.aspx, Feb. 2006
- [37] Chen P. The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data[J]. Data & Knowledge Engineering, 2008, 67(2)
- [38] Gellersen H W, Schmidt S, Beigl M. Multisensor context awareness in mobile devices and smart artefacts[J]. Mobile Networks and Applications, 2002, 7(5): 341-351
- [39] Strang T, Linnhoff-Popien C. A Context Modeling Survey[C]//UbiComp'04, Nottingham, 2004
- [40] Dustdar S, Rosenberg F. A survey on context-aware systems [J]. Int. J. Ad-hoc and Ubiquitous Computing, 2007, 2(4): 263-277
- [41] Noy N F, McGuinness D L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology [R]. KSL-01-05. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report, Mar. 2001
- [42] Avancha S, Patel C, Joshi A. Ontology-driven adaptive sensor networks[C]//MobiQuitous'09, 2004: 194-202
- [43] Eid M, Liscano R, Saddik A E. A Novel Ontology for Sensor Networks Data[C]//CIMSA'06, July 2006
- [44] Eid M, Liscano R, Saddik A E. A Universal Ontology for Sensor Networks Data[C]//CIMSA'07, June 2007
- [45] Jurdak R, Lopes C V, Baldi P. A Framework for Modeling Sensor Networks[C]//OOPSLA'04, Vancouver, Canada, 2004
- [46] Kim J, Kwon H. Building a Service-oriented Ontology for Wire-

- [47] Dietze S, Domingue J. Bridging Between Sensor Measurements and Symbolic Ontologies Through Conceptual Spaces[C]//Sem-SensWeb'09, June 2009
- [48] Preuveneers D, Berbers Y. Quality extensions and uncertainty handling for context ontologies[C]//Context and Ontologies: Theory Practice and Applications, Aug. 2006;62-64
- [49] Ontobroker[EB/OL]. <http://Ontobroker.aifb.uni-karlsruhe>
- [50] Cycorp, Inc. What is Cyc? [EB/OL]. [http://www.cyc.com/cyc/technology/whatiscyc\\_dir/whatiscyc](http://www.cyc.com/cyc/technology/whatiscyc_dir/whatiscyc)
- [51] Maki W, McKinley L, Thompson A. Semantic distance norms computed from an electronic dictionary (wordnet). Behavior Research Methods, Instruments&Computers[J]. 2004,36:421-431
- [52] Navigli R, Velardi P. An analysis of ontology-based query expansion strategies[C]//ATEM'03, Sep. 2003
- [53] 武成岗, 焦文品, 田启家, 等. 基于本体论和多主体的信息检索服务器[J]. 计算机研究与发展, 2001,38(6):641-647
- [54] 廖明宏, 等. 一个 WWW 智能搜索引擎[J]. 计算机应用研究, 2001(5):29-30
- [55] 万捷. 本体论在信息检索中的应用研究[D]. 南京:东南大学, 2003
- [56] 徐振宇, 张维明, 陈文伟. 基于 Ontology 的智能信息检索[J]. 计算机科学, 2001(6):21-26
- [57] 廖乐健, 曹元大, 李新颖. 基于 Ontology 的信息抽取[J]. 计算机工程与应用, 2002(23):110-113
- [58] 李景. 本体理论在文献检索系统中的应用研究[M]. 北京:北京图书馆出版社, 2005
- [59] Resource Description Framework (RDF) [EB/OL]. <http://www.w3.org/RDF/>
- [60] RDF Schema[EB/OL]. [www.w3.org/TR/rdf-schema/](http://www.w3.org/TR/rdf-schema/)
- [61] DARPA Agent Markup Language[EB/OL]. [www.daml.org/](http://www.daml.org/)
- [62] Dan C, et al. DAML+OIL (March 2001) Reference Description [EB/OL]. [www.w3.org/TR/daml+oil-reference](http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference)
- [63] OWL Web Ontology Language[EB/OL]. <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>
- [64] Hall D L, Llinas J. Handbook of Multisensor Data Fusion[N]. CRC Press, 2001
- [65] Cevher V, Kaplan L. Acoustic sensor network design for position estimation[J]. ACM Transactions on Sensor Networks, 2009,4(3)
- [66] Chen J C, Yao K, Hudson R E. Source Localization and Beam-forming[J]. IEEE Signal Processing Mag., 2002,19(2):30-39
- [67] 王书朋. 视频目标跟踪算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2009
- [68] Liu X W, Wang H Q, Liang Y, et al. Heterogeneous Multi-sensor Data Fusion with Multi-class Support Vector Machines: Creating Network Security Situation Awareness[C]//ICMLC'07, 2007
- [69] Cevher V, Sankaranarayanan A, McClellan J H, et al. Target tracking using a joint acoustic video system[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2007,9(4):715-727
- [70] Dey A K. Providing architectural support for building context aware applications[D]. 2000
- [71] Schilit B N, Theimer M M. Disseminating Active map information to mobile hosts[J]. IEEE Network, 1994,8(5)
- [72] Padovitz A, Loke S W, Zaslavsky A. An Approach to Data Fusion for Context Awareness[C]//CONTEXT'05, 2005;353-367
- [73] 孔宁. 物联网资源寻址关键技术研究[D]. 北京:中国科学院研究生院(计算机网络信息中心), 2008
- [74] 薛伟冬. 共性服务集成与运营支撑系统中 AAA 服务子系统的研究与实现[D]. 北京:北京邮电大学, 2009
- [75] Armbrust M, et al. Above the Clouds; A Berkeley View of Cloud Computing[R]. UCB/EECS-2009-28. University of California at Berkley, USA, Feb. 2009
- [76] Ranjan R, Buyya R. Decentralized Overlay for Federation of Enterprise Clouds[M]. Li K, et al., eds. Handbook of Research on Scalable Computing Technologies, IGI Global, USA, 2009
- [77] Tolstikov A, et al. Information Quality Management in Sensor Networks Based on the Dynamic Bayesian Network Model[C]//ISSNIP'07, 2007;751-755
- [78] Padovitz A, Loke S W, Zaslavsky A. Multiple-agent Perspectives in Reasoning About Situations for Context-aware Pervasive Computing Systems[J]. IEEE T Systems, Man and Cybernetics (Part A), 2008,38(4):729-742
- [79] Zhang Y, Ji Q. Efficient Sensor Selection for Active Information Fusion[J]. IEEE T. Systems, Man and Cybernetics (Part B), 2009
- [80] Huang J J, Yuan Y B. Construction and Application of Bayesian Network Model for Spatial Data Mining[C]//ICCA '2007, May 2007
- [81] Welch G, Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter[R]. NC27599-3175. Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill Chapel Hill, 2006
- [82] Sentz K, Ferson S. Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory[R]. SAND2000-0835. Albuquerque, NM; Sandia National Labs
- [83] An A J, Stefanowski J, Ramanna S, et al. Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining and Granular Computing[C]//RSFDGrC '07, May 2007
- [84] Hu X X, Wang H, Wang S. Using Expert's Knowledge to Build Bayesian Networks[C]//CISW '07, Aug. 2007
- [85] Fenz S, Tjoa A M, Hudec M. Ontology-based Generation of Bayesian Networks[C]//CISIS '09, Mar. 2009
- [86] Shetty S, Song M. Structure Learning of Bayesian Networks Using a Semantic Genetic Algorithm-based Approach[C]//ITRE'05, June 2005
- [87] Rabiner L R. An Introduction to Hidden Markov Models[J]. IEEE Acoustic Speech and Signal Processing Magazine, 1986
- [88] Murphy K P. Dynamic Bayesian Networks: Representation, Inference and Learning[D]. Computer Science Division, UC Berkeley, July 2002
- [89] Stoianov I, Nachman L, Madden S, et al. PIPENET: A wireless sensor network for pipeline monitoring[C]//IPSN '07, Apr. 2007
- [90] Chen H. An Intelligent Broker Architecture for Pervasive Context-aware Systems[D]. University of Maryland, 2004
- [91] Roman M, Campbell R, Gaia; Enabling active spaces[C]//ACM SIGOPS'00, Sep. 2000
- [92] Dey A K, Salber D, Abowd G D. A contextual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications[J]. Human-Computer Interaction, 2001,16(2-4):97-16
- [93] Kim H, Cho Y, Oh S. CAMUS: A Middleware Supporting Context-aware Services for Networkbased Robots[C]//ARSO'05, May 2005
- [94] Behloul N B, Taconet C, Bernard G. An architecture for supporting development and execution of context-aware component applications[J]. IEEE, 2006,2(3):1-8
- [95] Gu T, Pung H K, Zhang D Q. Toward an OSGi-based infrastructure for context-aware applications[J]. IEEE Pervasive Computing, 2004(3):66-74



作者: 赵志军, 沈强, 唐晖, 方旭明, ZHAO Zhi-jun, SHEN Qiang, TANG Hui, FANG Xu-ming  
作者单位: 赵志军, 沈强, 唐晖, ZHAO Zhi-jun, SHEN Qiang, TANG Hui (中国科学院声学研究所高性能网络实验室 北京 100190), 方旭明, FANG Xu-ming (西南交通大学移动通信省重点实验室 成都610031)  
刊名: 计算机科学   
英文刊名: Computer Science  
年, 卷(期): 2011, 38(8)

## 参考文献(95条)

1. Gu T;Pung H K;Zhang D Q [Toward an OSGi-based infrastructure for context-aware applications](#) 2004(03)
2. Behloul N B;Taconet C;Bernard G [An architecture for supporting development and execution of context-aware component applications](#) 2006(03)
3. Kim H;Cho Y;Oh S [CAMUS:A Middleware Supporting Context-aware Services for Networkbased Robots](#) 2005
4. Dey A K;Salber D;Abowd G D [A contextual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications](#) 2001(2-4)
5. Roman M;Campbell R [Gaia:Enabling active spaces](#) 2000
6. Chen H [An Intelligent Broker Architecture for Pervasive Context-aware Systems](#) 2004
7. Stoianov I;Nachman L;Madden S [PIPENET:A wireless sensor network for pipeline monitoring](#) 2007
8. Murphy K P [Dynamic Bayesian Networks:Representation, Inference and Learning](#) 2002
9. Rabiner L R [An Introduction to Hidden Markov Models](#) 1986
10. Shetty S;Song M [Structure Learning of Bayesian Networks Using a Semantic Genetic Algorithm-based Approach](#) 2005
11. Fenz S;Tjoa A M;Hudec M [Ontology-based Generation of Bayesian Networks](#) 2009
12. Hu X X;Wang H;Wang S [Using Expert's Knowledge to Build Bayesian Networks](#) 2007
13. An A J;Stefanowski J;Ramanna S [Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining and Granular Computing](#) 2007
14. Sentz K;Person S [Combination of Evidence in Dempster-Shafer Theory SAND2000-0835](#)
15. Welch G;Bishop G [An Introduction to the Kalman Filter NC27599-3175](#) 2006
16. Huang J J;Yuan Y B [Construction and Application of Bayesian Network Model for Spatial Data Mining](#) 2007
17. Chen J C;Yao K;Hudson R E [Source Localization and Beamforming](#)[外文期刊] 2002(02)
18. Cevher V;Kaplan L [Acoustic sensor network design for position estimation](#) 2009(03)
19. Hall D L;Llinas J [Handbook of Multisensor Data Fusion](#) 2001
20. [OWL Web Ontology Language](#)
21. [Den C DAML+OIL \(March 2001\) Reference Description](#)
22. [DARPA Agent Markup Language](#)
23. [RDF Schema](#)
24. [Resource Description Framework \(RDF\)](#)
25. Zhang Y;Ji Q [Efficient Sensor Selection for Active Information Fusion](#) 2009
26. Padovitz A;Loke S W;Zaslavsky A [Multiple-agent Perspectives in Reasoning About Situations for Context-aware Pervasive Computing Systems](#)[外文期刊] 2008(04)
27. Tolstikov A [Information Quality Management in Sensor Networks Based on the Dynamic Bayesian Network Model](#) 2007
28. Ranjan R;Buyya R [Decentralized Overlay for Federation of Enterprise Clouds](#) 2009
29. Armbrust M [Above the Clouds:A Berkeley View of Cloud Computing UCB/EECS-2009-28](#) 2009
30. 薛伟冬 [共性服务集成与运营支撑系统中AAA服务子系统的研究与实现](#) 2009
31. 孔宁 [物联网资源寻址关键技术研究](#) 2008
32. Padovitz A;Loke S W;Zaslavsky A [An Approach to Data Fusion for Context Awareness](#) 2005

33. [Schilit B N;Theimer M M Disseminating Active map information to mobile hosts](#) 1994(05)
34. [Dey A K Providing architectural support for building context aware applications](#) 2000
35. [Cevher V;Senkaranarayanan A;McClellan J H Target tracking using a joint acoustic video system](#)[外文期刊] 2007(04)
36. [Liu X W;Wang H Q;Liang Y Heterogeneous Multi-sensor Data Fusion with Multi-class Support Vector Machines:Creating Network Security Situation Awareness](#) 2007
37. [王书朋 视频目标跟踪算法研究](#)[学位论文] 2009
38. [廖明宏 一个WWW智能搜索引擎](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 2001(05)
39. [武成岗;焦文品;田启家 基于本体论和多主体的信息检索服务器](#)[期刊论文]-[计算机研究与发展](#) 2001(06)
40. [Navigli R;Velardi P An analysis of ontology-based query expansion strategies](#) 2003
41. [Maki W;McKinley L;Thompson A Semantic distance norms computed from an electronic dictionary \(wordnet\)](#) 2004
42. [Cycorp, Inc What is Cyc](#)
43. [Ontobroker](#)
44. [Preuveneers D;Berbers Y Quality extensions and uncertainty handling for context ontologies](#) 2006
45. [Dietze S;Domingue J Bridging Between Sensor Measurements and Symbolic Ontologies Through Conceptual Spaces](#) 2009
46. [Kim J;Kwon H Building a Service-oriented Ontology for Wireless Sensor Networks](#) 2008
47. [Jurdak R;Lopes C V;Baldi P A Framework for Modeling Sensor Networks](#) 2004
48. [Eid M;Liscano R;Saddik A E A Universal Ontology for Sensor Networks Data](#) 2007
49. [Eid M;Liscano R;Saddik A E A Novel Ontology for Sensor Networks Data](#) 2006
50. [Avancha S;Patel C;Joshi A Ontology-driven adaptive sensor networks](#) 2004
51. [Noy N F;McGuinness D L Ontology Development 101:A Guide to Creating Your First Ontology Technical Report KSL-01-05](#) 2001
52. [Dustdar S;Rosenberg F A survey on context-aware systems](#) 2007(04)
53. [Strang T Linnhoff-Popien C A Context Modeling Survey](#) 2004
54. [廖乐健;曹元大;李新颖 基于Ontology的信息抽取](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2002(23)
55. [徐振宁;张维明;陈文伟 基于Ontology的智能信息检索](#) 2001(06)
56. [万捷 本体论在信息检索中的应用研究](#)[学位论文] 2003
57. [Gellersen H W;Schmidt S;Beigl M Multisensor context awareness immobile devices and smart artefacts](#) 2002(05)
58. [Chen P The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data](#) 2008(02)
59. [User Agent Profile Approved Version 2.0](#) 2006
60. [CC/PP Information Page](#)
61. [Soo Y S;Sunghyun C;Hong S P Packet Error Rate Analysis of IEEE 802.15.4 Under IEEE 802.11b Interference](#) 2005
62. [Razvan M;Andreas T Minimising the effect of WiFi interference in 802.15.4 wireless sensor networks](#) 2008(01)
63. [Jin M A Data Dissemination Model Base on Content-based Publish/Subscribe Paradigm in Large-scale Wireless Sensor Networks](#) 2009
64. [Vazquez J I Flexeo:An Architecture for Integrating Wireless Sensor Networks into the Internet of Things](#) 2008
65. [Chen Y Integrated Wireless Access Point Architecture for Wireless Sensor Networks](#) 2009
66. [Gibbons P B IrisNet:An Architecture for aWorld-Wide SensorWeb](#)[外文期刊] 2003(04)
67. [Dunkels A;Alonso J;Voigt T Connecting Wireless Sensomets with TCP/IP Networks](#) 2004
68. [Dai H;Han R Unifying Micro Sensor Networks with the Internet via Overlay Networking](#) 2004
69. [Sadagopan N;Krishnamachari B;Helmy A The ACQUIRE Mechanism for Efficient Querying in Sensor Networks](#) 2003
70. [Intanagonwiwat C;Govindan R;Estrin D Directed Diffusion:A Sealable and Robust Communication Paradigm for Sensor](#)

71. Bai J;Zang C;Wang T A Mobile Agents-based Real-time Mechanism for Wireless Sensor Network Access on the Internet 2006
72. Wobschall D Networked Sensor Monitoring Using the Universal IEEE 1451 Standard[外文期刊] 2008(02)
73. Zuniga Z M;Krishnamachari B Integrating Future Large-scale Wireless Sensor Networks with the Internet Computer Science Technical Report 03-792 2003
74. 李景 本体理论在文献检索系统中的应用研究 2005
75. Rhee C u-Korea 2010
76. Gothenberg A Japan's IT strategy for 2010-a ubiquitous network society 2007
77. MIC Information and Communications in Japan 2006 Feature:Ubiquitous Economy Ministry of Internal Affairs and Communications 2006
78. Aigner M Internet of Things in 2020 2008
79. ITU Internet Reports 2005.The Internet of Things 2010
80. 王世彤;邢晓江;李伟华 泛在网业务体系架构、标准化及关键技术问题 2010(01)
81. Vermesant O Internet of Things Strategic Research Roadmap 2009
82. Sung J Internet Metadata Framework for Plug and Play Wireless Sensor Networks 2009
83. Zhang M An Extensible Interworking Architecture (EIA) for Wireless Sensor Networks and Internet 2006
84. Sensor Standards Harmonization Working Group 2010
85. Zhao Y;Dong J;Peng T Ontology Classification for SemanticWeb-based Software Engineering 2009(04)
86. Fall K A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internet 2003
87. Warthman F Delay-Tolerant Networks (DTNs):A Tutorial 2003
88. Cerf V Delay-Tolerant Network Architecture 2003
89. Ubiquitous Sensor Networks (USN):ITU-T Technology Watch Briefing Report Series (No.4) 2010
90. 宁焕生;张瑜;刘芳丽 中国物联网信息服务系统研究 2006(12A)
91. Michael M;Darianian M Architectural solutions for mobile RFID services for the internet of things 2008
92. Sheth A;Henson C;Sahoo S Semantic Sensor Web[外文期刊] 2008(04)
93. Botts M;Percivall G;Reed C OGC Sensor Web Enablement:Overview and High Level Architecture 2008
94. Akyildiz I F;Wang X;Wang W Wireless mesh networks:a survey[外文期刊] 2005(04)
95. 中华人民共和国科学技术部 中国射频识别(RFID)技术政策白皮书 2006

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jsjcx201108001.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsjcx201108001.aspx)