软件学报 ISSN 1000-9825, CODEN RUXUEW
Journal of Software,2014,25(8):1685−1695 [doi: 10.13328/j.cnki.jos.004664]
©中国科学院软件研究所版权所有.
E-mail: jos@iscas.ac.cn
http://www.jos.org.cn
Tel/Fax: +86-10-62562563

物联网信息模型与能力分析*

毛燕琴[1,2], 沈苏彬[1,2]

[1](南京邮电大学 计算机学院,江苏 南京 210003)

[2](南京邮电大学 软件学院,江苏 南京 210003)

通讯作者: 沈苏彬, E-mail: sbshen@njupt.edu.cn, http://www.njupt.edu.cn

摘 要: 虽然近几年物联网技术开发与应用快速增长,但物联网理论研究仍然处于发展阶段.物联网作为一个典型的信息与通信系统,不仅具有现有互联网的信息存储和传递的能力,而且具有物品信息的自动采集和处理能力.构建物联网信息模型是分析物联网特征能力的一种有效方法.根据国际电信联盟有关物联网的定义和特征描述,通过采用统一建模语言构建物联网信息模型,分析和验证了物联网的物品相关能力、自主操作能力以及隐私保护能力,讨论了物联网信息模型在物联网技术标准方面的指导性结论,分析了物联网信息模型在讨论有争议的物联网概念或观点方面的应用价值.

关键词: 物联网;信息模型;物品关联;自主操作;隐私保护

中图法分类号: TP393

中文引用格式: 毛燕琴,沈苏彬.物联网信息模型与能力分析.软件学报,2014,25(8):1685−1695. http://www.jos.org.cn/1000-9825/4664.htm

英文引用格式: Mao YQ, Shen SB. Information model and capability analysis of the Internet of things. Ruan Jian Xue Bao/Journal of Software, 2014,25(8):1685−1695 (in Chinese). http://www.jos.org.cn/1000-9825/4664.htm

Information Model and Capability Analysis of the Internet of Things

MAO Yan-Qin[1,2], SHEN Su-Bin[1,2]

[1](School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

[2](School of Software, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Corresponding author: SHEN Su-Bin, E-mail: sbshen@njupt.edu.cn, http://www.njupt.edu.cn

Abstract: While the technical development and applications of the Internet of things (IoT) grow rapidly in recent years, the theoretical research of the IoT is still in the developing stage. The IoT is a typical information and communication system. It possesses not only the capabilities of storing and transferring information as with the existing Internet, but also the capabilities of automatic capturing and processing the information of things. The IoT information modeling is an effective method to analyze the characteristic capabilities of the IoT. In this paper, an information model of the IoT is described by unified modeling language according to the definition and characteristics of the IoT specified by International Telecommunication Union (ITU). The capabilities of things association, autonomic operation, and privacy protection are analyzed and validated based on the information model of the IoT. The conclusions of guiding the standardization of the IoT technology from the information model of the IoT are discussed, and the values of the IoT information model in resolving the issues of debated concepts or opinions of the IoT are analyzed.

Key words: Internet of things; information model; thing association; autonomic operation; privacy protection

物联网(Internet of things,简称 IoT)的出现可以追溯到 1998 年,美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology,简称 MIT)基于无线射频标识(radio frequency identification,简称 RFID)技术提出的产品电子编码

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)(2011CB302903); 南京邮电大学自然科学基金(NY211115)
收稿时间: 2014-02-17; 定稿时间: 2014-04-29

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

(electronic product code,简称 EPC)系统.2005 年,国际电信联盟(International Telecommunication Union,简称 ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005:物联网》[1],系统地阐述了物联网的基本概念、相关技术、潜在市场、面临挑战以及对未来全球经济和社会发展的可能影响,正式向全球揭示了物联网技术发展的必然趋势.

物联网从字面上很容易解释成连接物品的网络.物联网实际上是物品互联网的简称.它必须具有互联网的功能特征,用于构成连接物品的全球信息基础设施.按照这种定义,目前并没有真正意义上的物联网,现有的某些连接物品的网络应该准确地称为物品内联网(Intranet of things)[2].

经过近几年国内外有关物联网的研究和技术标准化工作,物联网的定义和基本特征已经基本明确,并且在一定范围内达成了共识.国际上在物联网研究和技术标准化方面比较有代表性的工作包括:2010 年 9 月,欧洲信息技术领域的著名企业、研究机构和高校发起的、欧洲联盟参与资助的物联网体系结构(Internet of things-architecture,简称 IoT-A)项目;2011 年 3 月,国际电信联盟电信标准化部(ITU Telecommunication Standardization Sector,简称 ITU-T)发起的“物联网全球标准化行动(Internet of things global standards initiative,简称 IoT-GSI)”项目.ITU-T 于 2012 年 6 月正式发表了有关物联网技术标准的第一个建议——物联网概览[3],给出了物联网作为连接物品的全球信息基础设施的定义,明确了物品相关服务的特征以及自主联网、自主服务提供、隐私保护等高层需求.IoT-A 于 2013 年 7 月正式发布了有关物联网体系结构参考模型的最终研究报告[4],明确了物联网技术开发过程中需要解决的体系结构方法的核心问题以及有关物联网体系结构参考模型的阶段性研究结果,提出了从物联网领域模型、信息模型、通信模型、功能模型、部署模型系统研究和制定物联网体系结构参考模型的思路和初步结果.这些标准建议和技术报告为物联网理论研究提供了诸多值得深入研究的课题.

我们通常认为,为了系统地解决物联网技术和应用开发过程中的互连、互通、互操作的问题,必须实现物联网技术的标准化.就像计算机网络标准化技术必须依赖于开放系统互连(open system interconnection,简称 OSI)参考模型[5]一样,物联网的标准化技术必须依赖于物联网参考模型.有些专家提出质疑:为何不能采用现有的 OSI 参考模型或者互联网体系结构作为物联网的参考模型?这也是一项值得研究的问题,根据 IoT-A 的研究结论[4],物联网涉及到物品数据的采集、存储、融合、传递和处理,现有的 OSI 参考模型和互联网体系结构仅仅涉及到数据透明传送,仅提供了一种通信模型,无法满足物联网对物品数据采集和处理的需求.所以,为了制定准确的、满足应用需求的物联网技术标准,需要从理论上研究物联网的信息模型、功能模型和部署模型.

国内外学者已经对物联网信息模型的构建展开了相关的研究.文献[6]从领域属性、时间属性和位置属性这 3 个方面定义了物品模型,并且在此基础上定义了包括实体模型、资源模型以及物联网服务的信息模型,但该物联网信息模型仅仅应用于传感器网络的相关应用.文献[7]讨论了物联网建模的思路和方法,提出了一个基于生物的自主特征的、允许智能物品互连、互操作的、具有自组织、自治的能力的服务实体模型.这个服务实体模型还仅仅是概念层次的模型,对于物联网技术和应用开发的参考价值有待进一步讨论.文献[8]从感知即服务的物联网体系结构角度讨论了传感器查找的技术,试图从场景感知模型直接查询到传感器,这方面工作涉及到较为具体的物联网建模方法,从某个角度反映了物联网信息模型的实际应用价值.文献[9]从物联网工业应用发展的角度综述了面向服务的物联网架构及其关键技术.文献[10]介绍了一种崭新的物联网架构模型,利用语义融合架构封装来自传感网络的处理信息.文献[11]提出了一种物联网网关参考模型,作为代理集成多个不同的网络.文献[12]介绍了一种物联网通信协议栈,以满足物联网低功耗、高可靠性及与互联网互通的要求.文献[13]综述了支持物联网通信的现有互联网工程任务组(Internet engineering task force,简称 IETF)协议簇和开放标准.总体来看,虽然 IoT-A 明确提出了物联网信息模型研究的必要性,并且提出了物联网信息模型,但国内外目前可以查找到且与物联网信息模型相关的研究成果比较少.所以,物联网信息模型值得学术界和工业界进一步研究和探索.

本文主要基于 ITU-T 提出的物联网定义和特征,采用统一建模语言(unified modeling language,简称 UML)构建一个抽象的物联网用例模型,在此基础上构建一个适用于全球信息基础设施的物联网信息模型,并且运用该物联网信息模型分析物联网的物品关联能力、自主操作能力和隐私保护能力,并对一些存在争议的物联网概念进行分析和讨论.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

本文第 1 节讨论构建物联网信息模型的需求分析.第 2 节采用 UML 描述一个物联网的信息模型.第 3 节采用物联网信息模型分析物联网的 3 个特征能力.第 4 节分析存在争议的有关物联网的概念.第 5 节总结全文的主要观点,讨论后续需要继续研究的问题.

1 物联网信息模型的需求分析

为了保证物联网信息模型能够满足应用需求并解决物联网的理论或技术问题,必须进行较为客观的需求分析.需求分析的关键是能够把握核心的用例,并且能够把这些核心用例组成一个完整的用例之间的关联结构.我们把这种综合的用例结构称为抽象用例模型.

根据 ITU-T 给出的物联网定义和相关的特征与需求描述[3],我们抽象出了物联网参与方和与参与方关联的操作,以此构成物联网的抽象用例模型.由于主要侧重于物联网定义和与应用相关的特征与需求,所以可以从物联网信息采集、传递、融合、处理和应用角度形成的物联网操作的抽象模型,就可以直接关联于物联网信息模型相关的类以及方法.物联网抽象用例模型为构造物联网信息模型提供了必要的依据.物联网抽象用例模型描述了物联网的抽象操作和抽象参与方,物联网的抽象参与方可以在进一步细化之后形成物联网的角色.

图 1 给出了一个基于 UML 的物联网抽象用例模型,包含 4 类物联网抽象用例(抽象操作)和 4 类物联网抽象参与方.其中,物联网物品感知、物联网数据管理、物联网服务提供、物联网隐私保护是 4 类物联网必须提供的基本抽象操作,这样归纳的物联网抽象操作可以包括物联网面向应用的基本特征和需求.

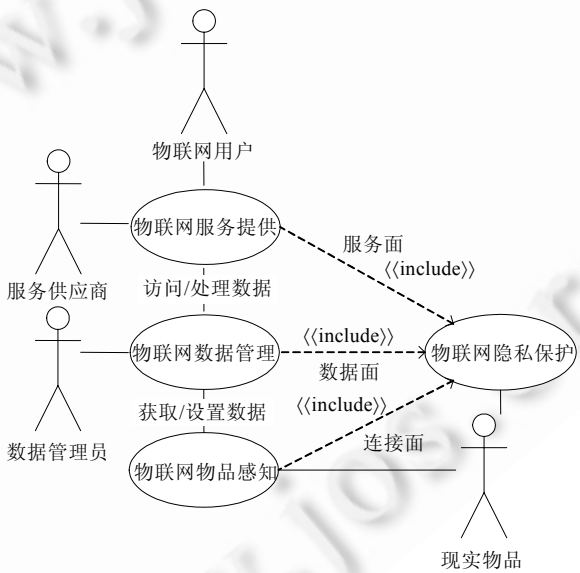


Fig.1 Abstract use case model of IoT

图 1 物联网抽象用例模型

- 物联网物品感知抽象操作是可以应用于所有物联网应用领域的基本操作,包括连接现实世界的物品(简称为现实物品)、感知现实物品状态以及执行对现实物品的控制.其中,执行对现实物品控制的操作属于物联网物品感知中的可选操作,仅适用于具有接收控制指令的现实物品.
- 物联网数据管理抽象操作作为物联网的基本操作,可以应用于物联网所有应用领域,包括获取、传送、存储、融合、处理现实物品的数据.这类物联网抽象操作属于物联网特有的基本操作,也是物联网不同于现有其他网络的特征操作.
- 物联网服务提供抽象操作可以应用于物联网所有应用领域,包括服务供应商主动提供物联网相关服务以及用户自主调用物联网服务.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

- 物联网隐私保护的抽象操作是物联网信息模型中必须具有的操作,包括采用信息安全技术隐藏现实物品相关的隐私信息,或者直接删除现实物品相关的隐私信息.这类操作不同于一般系统中可选的安全操作,隐私保护是物联网信息模型中必须具备的操作类.我们在后面的章节中可以看到:物联网信息模型通过物联网信息实体类中相关的约束条件实现隐私保护.对隐私保护抽象操作的这样建模方式,主要基于两个方面的考虑.其一,从需求分析角度来看,隐私保护是物联网外部参与方(即现实物品)直接关联的操作,但这仅仅是现实物品要求的操作,并不是现实物品可以直接实施的操作.该操作需要通过其他抽象操作来实施.其二,从功能的实现和部署角度来看,这些隐私保护操作将作为封装物联网信息实体内与物联网信息实体内部敏感信息的操作相关,并需要根据不同操作方的权限进行具体设定的操作.所以,隐私保护抽象操作不是单独存在的,而是包含在其他 3 个基本操作内部的基本操作.

这些物联网抽象操作都是物联网外部可以观察到的操作.为了论证这些物联网抽象操作的外部可观察性,需要引入并描述与这些物联网抽象操作相关的物联网抽象参与方.

图 1 描述了与物联网抽象用例相关联的 4 类物联网抽象参与方,即物联网用户、物联网服务供应商、物联网数据管理员以及现实物品.

- 物联网用户表示所有订购或使用物联网服务的物联网外部实体.订购物联网服务的用户和使用物联网服务的用户可以分离,订购物联网服务的用户并不一定使用物联网服务.这样,物联网用户就可以包括具有智能的物品.物联网用户关联于物联网服务提供抽象操作.
- 物联网服务供应商表示所有直接或间接提供物联网服务的物联网外部实体,物联网服务供应商内部可以形成一个完整的物联网服务提供的生态系统.这种服务供应商内部的生态系统属于物联网商业模型讨论的内容,这里不再详细讨论.物联网服务供应商关联于物联网服务提供抽象操作.
- 物联网数据管理员表示所有提供物联网数据采集、传递、存储、融合、处理和应用的管理或控制的物联网外部实体.这是现有互联网没有而物联网特有的一类参与方,这类数据管理员并不一定是服务提供商,可以是第三方提供专业数据管理的机构.物联网数据管理员关联于物联网数据管理抽象操作.
- 现实物品表示物联网可以直接感知并且能够采集其信息,传递、存储、融合、处理和应用其数据,并且总是能够追溯到信息采集源的物联网外部实体.现实物品也就是物联网直接连接的现实物理世界的物品.现实物品既关联于物联网信息感知抽象操作,又关联于物联网隐私保护抽象操作.

物联网抽象用例模型可以作为构建和验证物联网信息模型的基础.物联网抽象用例模型的扩展和细化将构成具体验证物联网物品感知、数据处理以及服务提供信息模型的基础.以上有关物联网抽象用例模型的部分研究结果已经提交国际电信联盟标准化部(ITU-T)的物联网通用需求建议草案,并且已经被接纳.

2 一种物联网信息模型

基于以上给出的物联网抽象用例模型,可以分析物联网从物品数据采集到物品服务提供的基本信息流程.在此基础上,可以归纳出与物联网信息采集、分类、存储、更新和查询相关操作的物联网信息实体.这些信息实体类及其相互关系构成了一个物联网信息模型.从中可以看出,物联网信息模型的核心是物联网信息实体类的归纳和抽象.

物联网抽象用例模型中的现实物品、物联网用户都归纳和抽象成一类物联网信息实体类,而物联网服务供应商和数据管理员映射到承担物联网服务的信息实体类的操作.基于物联网抽象用例模型构建的物联网信息模型的总体架构如图 2 所示.

物联网信息模型由 4 大类实体组成:物理实体类、资源实体类、服务实体类和用户实体类.物联网信息模型中的用户实体类、服务实体类、资源实体类都属于非物理实体类.这些实体类需要在物联网物理实体类中实现和部署.这样,该物联网信息模型也可以指导物联网部署模型的构建和验证.

物联网抽象用例模型的服务提供操作将由用户实体类和服务实体类中的相关方法提供,数据管理操作将由服务实体类和资源实体类的相关方法提供,物品感知操作将由资源实体类与物理实体类中的相关方法提供.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

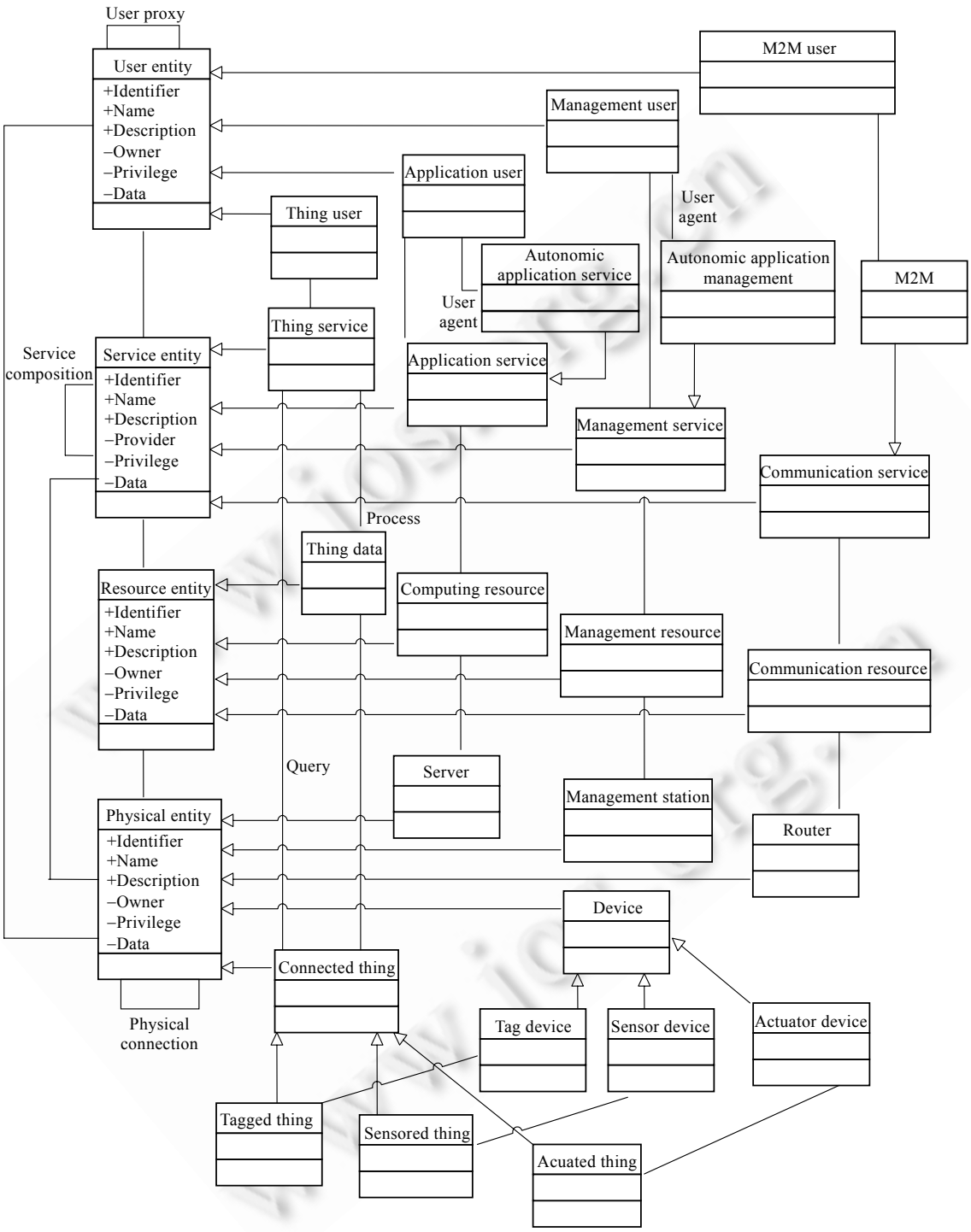


Fig.2 Architecture of IoT information model

图 2 物联网信息模型总体架构

从图 2 横向角度来看,4 类物联网信息模型基本信息实体类均包含了不同的实例化实体,其中一些实例化的

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

实体并不是物联网特有的,而是在现有的网络系统具有的实体.这就说明该物联网信息模型可以描述现有网络系统的信息实体类及其相互之间的关联,应用于现有的网络系统建模和分析.由于现有网络一般不实际处理数据,只有现有网络管理系统才需要采集和处理网络节点、通信链路和网络应用的数据,所以,该信息模型对于研究新一代基于网络状态感知的网络管理系统具有一定的参考价值.

另外需要说明的是,图 2 实例化的实体类仅仅是与现有物联网功能和技术相关的基本实例类,并不包括所有可能实例化的实体类.随着物联网技术和应用的发展,物联网信息实体类的实例化实体可以进一步补充和完善.

图 2 还描述了 4 类物联网信息模型基本信息实体类之间存在相应的关联关系.物联网用户实体类通过物联网用户的服务访问以及物联网服务的提供与物联网服务实体类相互关联.物联网用户实体类本身就可以作为一个物联网物理实体.例如,对于具有智能的物品,它既可以作为一个物联网物理实体,受到物联网监测和控制,也可以作为物联网一个用户实体,调用物联网服务,可以直接关联于物联网物理实体类.物联网用户类可以自我关联,即对于某些实例化的不同物联网用户对象,它们可以组合成特定用户.

物联网服务实体类通过调用物联网可用资源(其中包括数据资源、计算资源和通信资源)以及物联网资源的开放,提供与物联网资源实体类相互关联.物联网服务实体类也可以直接关联于物联网物理实体类,基于物联网物理实体类的方法提供服务.物联网服务实体类可以自我关联,即对于某些实例化的不同物联网服务对象,它们可以相互调用服务,形成组合服务.

物联网资源实体类通过物联网物理实体类方法的调用与物联网物理实体类关联.物联网物理实体类可以自我关联,形成组合的物联网物理实体,例如,物联网装置、服务器和路由器组合可以形成一种特定应用领域的物联网网关.

以上物联网信息实体类之间的关系可以通过这些信息实体类实例化得到继承.例如,物品用户(thing user)、物品服务(thing service)、物品数据(thing data)、联网物品(connecting data)分别为用户实体类实例、服务实体类实例、资源实体类实例、物理实体类实例,这 4 个实例之间的关系是这 4 类信息实体类之间的抽象关系的实例化.物品用户即访问物品服务的用户,两者之间具有访问关联关系;物品服务通过访问物品数据资源来提供服务,两者之间具有访问关联关系;物品数据通过访问联网物品来采集数据,两者之间具有访问关联关系.

2.1 物联网物理实体类

物理实体类是物联网基本物理组成单元的抽象.物理实体类不仅包括物联网需要连接的物品以及连接这些物品的装置的抽象,而且包括现有网络中已有的、组成物联网必须的物理单元(例如服务器、路由器)的抽象.如图 2 所示,物理实体类可以实例化为装置(device)、服务器(server)、管理站点(management station)、路由器(router).这些物联网实例化的物理实体都是物联网的基本物理实体.

物联网信息模型中的装置是指具有物品感知能力、不同于网络数据传送设备的一类物理实体类实例.可以进一步实例化为标签装置、传感器装置和执行器装置.标签装置与标签物品关联,传感器装置与被传感的物品关联,执行器装置与被执行的物品关联.

2.2 物联网资源实体类

资源实体类是提供物联网基本能力的功能单元的抽象.资源实体类不仅包括物联网提供的与物品直接相关能力所需的功能单元的抽象,而且包括现有网络已有的、物联网必须具有的资源(例如计算资源、通信资源、管理资源)的抽象.物联网资源实体类包括了物联网数据表示、存储、传递、融合、查询和更新等基本能力.

如图 2 所示,资源实体类可以实例化为物品数据、计算资源、管理资源和通信资源.其中,通信资源指的是物联网中进行网络数据传送的通信功能单元.它与现有网络中已有的、组成物联网必须的物理实体类实例存在关联关系,如路由器、交换机等.

2.3 物联网服务实体类

服务实体类是提供物联网基本服务的功能单元的抽象.服务实体类不仅包括物联网提供的与物品之间相

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

关服务所需的功能单元的抽象,而且包括现有网络已有的、物联网必须提供的服务单元(例如应用服务、管理服务、通信服务等)抽象,多个服务实体类抽象操作之间可以通过服务组合方式创建组合服务功能单元.物联网服务实体类包括了物联网应用支撑能力.

如图 2 所示,服务实体类可以实例化为物品服务、应用服务、管理服务和通信服务,应用服务可以进一步实例化为智能应用服务,管理服务可以进一步实例化为智能管理服务,通信服务可以进一步实例化为机器与机器通信(machine to machine,简称 M2M)服务.

智能应用服务作为应用服务的实例化,扩展了应用服务的自主服务特征属性和相关的方法,使得应用服务实体具有了智能服务的能力.

M2M 服务仅仅提供机器与机器之间的数据通信服务,并不涉及到物品服务的表示、查询、更新、融合和挖掘等操作,M2M 服务与物品服务是相互独立的服务类,两者可以根据应用需求,组合成较为完整的物联网自主服务.

2.4 物联网用户实体类

用户实体类是物联网用户的抽象.用户实体类不仅包括对物联网提供的物品服务访问用户的抽象,还包括对现有网络服务访问用户(例如访问应用支撑服务、管理服务和通信服务等用户)的抽象.

如图 2 所示,用户实体类可以细化为访问物品服务的物品用户、访问应用服务的应用用户、访问管理服务的管理用户以及访问 M2M 服务的 M2M 用户.这些用户实体的协同操作可以提供自主服务调用的能力.

2.5 相关物联网信息模型分析

这里构建的物联网信息模型不仅包括了文献[6]所构建的物联网信息模型的所有信息实体类,而且增加了用户实体类,使得物联网的自主服务调用能力具有实际可以承载的信息实体类.

这里构建的物联网信息模型与 IoT-A 构建的物联网信息模型在总体上保持一致,只是 IoT-A 构建的物联网信息模型主要是针对虚拟物品(对应于图 2 的物理实体类)构建的信息模型,相当于图 2 最左侧实例化的联网物品、物品数据、物品服务的实体类,也没有包括用户实体类.IoT-A 这类主要侧重于联网物品的信息模型可以指导物联网应用软件的开发,但无法指导物联网体系结构参考模型以及其他物联网技术标准的制定.

该信息模型可以指导物联网技术标准的制定.基于该物联网信息模型,可以得出以下与物联网技术标准相关的结论:

(1) 物品本身的信息模型不属于物联网技术标准范畴,从该信息模型可以看出,物联网仅仅采集物品数据,而如何把物品状态和行为转换成为物品数据并不属于物联网处理的范畴,也不属于物联网技术标准的范畴.现实物品的信息建模属于物联网相关物品的应用领域考虑的问题.

(2) 物联网装置的基本功能是关联现实物品与虚拟物品.物联网装置的其他功能(例如数据缓存、应用代理等)属于物联网装置与物联网其他联网设备的组合功能实体.

(3) 现有网络设备可以作为物联网连接的物品,现有网络设备的智能化管理技术可以应用于物联网,物联网可以采用现有网络管理技术连接和感知现有网络设备(例如物联网装置、路由器和服务器等).

(4) 机器与机器通信(M2M)服务属于物联网通信服务的一部分.物联网通信服务的技术标准需要与 M2M 服务技术标准协商制定.

(5) 物联网信息模型包括了现有网元的资源实体类,所以,现有网元可以纳入物联网资源管理,现有网元资源管理的虚拟化技术可以应用于物联网.物联网资源管理技术标准需要与现有网元资源管理的虚拟化技术标准协商制定.

这些有关物联网技术标准的结论可以在很大程度上明确有关物联网技术标准制定过程中许多存在争议的技术问题.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

3 物联网特征能力的分析

虽然已经发表的物联网技术报告或研究论文罗列了许多物联网所必须具备的能力,文献[6]是我们所能看到的、公开发表的、最为完整地描述物联网能力的文献,其中讨论了物联网的联网能力、计算能力、存储能力、通信能力等.我们认为,这些都是物联网必须具有的能力,但并不能很好地概括在物联网体系结构参考模型层面进行技术标准化的特有的能力,这将导致物联网特征能力描述和标准化过程过于复杂,而无法再进一步细化物联网实现和部署层面的物联网能力的标准化工作.为了简化物联网的技术标准化过程,必须在物联网体系结构抽象层次提炼物联网的基本特征能力.

我们认为,物联网特有的、不同于现有互联网的基本特征能力包括:

- 物品关联能力,即,物联网的联网、服务提供、服务调用等操作具有直接关联物理世界物品的能力,这是物联网能够连接物品的基本特征能力.
- 自主操作能力,即,物联网具有自主执行联网、服务提供、服务调用等操作的能力,这是物联网在连接物品的基础上进行自动数据采集、分类、存储、传递、更新所必备的能力.
- 隐私保护能力,即,物联网所有的操作都具有隐私保护的能力.这是物联网自主采集和处理物品数据操作中必须具有的基本安全能力.

这 3 类物联网特征能力可以相互组合,提供更加丰富多样的物联网特征能力.例如,物联网具有自主的、与物品相关的隐私保护能力.

以上讨论的物联网特征能力主要是指物联网体系结构和功能需求的技术标准层面的技术特征能力,以上的特征能力的组合也只是在物联网功能设计层面的能力组合,并不包括物联网实现模型和部署模型相关实现层面的技术特征能力,例如物联网承担大量异构流量的能力.这部分能力属于针对以上物联网基本特征能力在实现层面上需要标准化的物联网能力,ITU-T 正在制定大数据技术与物联网集成的能力,涉及到在物联网环境下支撑大数据采集、传送、存储和处理的能力,其中包括物联网承载大量差异流量的能力.

物联网这些基本特征能力仅仅是对现有物联网应用需求和实际功能抽象的结论,这些基本特征是否能够在理论上得到证明?以下将采用物联网信息模型来验证这些基本特征能力的可行性.

3.1 物品关联能力分析

物理实体类可以实例化连接到物联网的物品,简称为联网物品;与物联网连接,并且感知物品的装置,简称为装置;构成物联网的其他功能单元,例如物联网服务器、管理站点和路由器等.从物联网实体类实例化的信息实体可以看出:物联网信息模型包括现有的互联网的信息实体类,例如服务器、路由器等,同时还包括互联网不具有的信息实体类,例如连接物品、装置等,这样就可以通过这些现有互联网不具有的信息实体类,研究物联网基本的特征能力.采用物联网信息模型完整地描述现有互联网的信息实体类,将可以更加系统和准确地描述现有互联网对服务器、路由器以及相关应用的管理体系,可以促使新一代基于感知的、网络管理系统的研究和开发.

联网物品实际上是对应于连接到物联网所有物品的信息实体,这是在逻辑层次对连接到物联网物品的信息表示,但这种逻辑层次的信息表示并不能全面地描述物联网与物品连接的具体技术和方法,所以必须在实现层次描述物联网的信息实体.

物联网装置就是物理实体类在实现层次实例化的一类信息实体,装置关联于联网物品.在实现层次,装置可以进一步实例化为标签装置、感知装置和执行装置,而连接物品可以进一步实例化为标识物品、感知物品和执行物品;标签装置关联于标识物品,感知装置关联于感知物品,执行装置关联于执行物品.这样,就可以明确地解释装置关联于联网物品的实际含义了.

3.2 自主操作能力分析

物联网的自主操作能力要求物联网具有不需要人工干预,按照用户需求自动执行联网、服务提供、服务调用等操作的能力.这种能力与现有计算机网络中的即插即用能力、网络自动配置能力、系统自举能力以及基于

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

位置的服务能力相关,但现有的计算机网络这类能力都是侧重于自动服务提供的能力,可以在物联网信息模型的服务实体类中提供,而自主服务调用能力,则需要在物联网用户实体中提供.

自主服务调用能力要求所有的物联网用户在物联网中都有一个虚拟的用户实体,这个虚拟用户实体可以准确地记录物联网用户的操作行为,并且能够按照用户设定的自主操作规则,根据用户当前所处的场景,自主调用用户需要的服务.

自主服务调用是智能交通系统、电子健康系统必须的能力,也是物联网连接的物品具有自主操作的核心能力,这使得智能物品具备自主使用物联网的能力.

3.3 隐私保护能力分析

隐私保护能力通常归类于安全能力,但现有互联网的安全能力是一种可选能力,可以根据应用需要进行配置的能力.物联网的隐私保护能力是物联网必备的能力,需要分散到所有的联网物品以及物联网的操作中.

基于物联网的信息模型,我们可以在物理实体类和用户实体类的本身操作中设置对这些实体操作的隐私约束条件,这样就可以将物联网的隐私保护能力分布到联网物品、物联网用户中,从而在信息源头保护个人隐私不被泄露.

隐私保护能力需要通过物理实体类、用户实体类中的约束条件来提供,这些约束条件直接关联对这些实体类私有信息的访问,所以,在这个层面进行隐私保护是最为直接的隐私保护.

4 物联网相关概念的分析

以上构建的物联网信息模型不仅可以分析物联网的特征能力,而且可以分析目前一些存在争议的物联网的概念或观点.

4.1 关于“标签即是装置”的分析

在公开发表的物联网研究报告和论文中,文献[4]就明确阐述了物联网装置包括传感器、标签和执行器,把标签作为装置的一类.从以上建立的信息模型可以看出:标签仅仅是物品的标识,在实际物联网应用中并不完全具有物品的基本属性,也不可能实例化为装置.标签一定要与某个具体的物品关联才具有实际的应用价值.存储有物品标识信息的电子标签,也仅仅是物品的标识.它需要依赖于标签阅读器才能读取其标识符,并且与相关的标签信息库关联,识别物品的相关信息.所以我们认为:应该把“标签和标签阅读器”作为一个装置,而不能把标签单独作为一个装置,这样就可以与物联网信息模型中有关装置、物品等定义相吻合.当然,从物联网管理视角看,标签可以作为一类物品,在物联网中进行统一的管理.但物联网管理视角并不代表物联网的所有视角,特别是无法代表物联网的应用、联网等视角,所以,把标签作为物联网装置讨论,在理论上是不准确的,会造成物联网概念上的混乱,并且不利于物联网技术的标准化.

4.2 关于“装置即是物品”的分析

在国际电信联盟物联网全球标准化会议上,有专家对“物联网装置作为物联网关联现实物理世界与虚拟网络世界的核心部件[4]”这种观点存在质疑,认为物联网装置本身就是一个现实物理世界的物品,并不需要装置的关联.根据物联网信息模型可以看出:物联网装置确实是现实物理世界的物品,但这个物品在实际物联网应用中仅仅是关联现实物理世界的物理物品与虚拟网络世界的联网物品的一种特殊物品,这种装置只有在物联网管理视角中才作为需要感知和执行的物品.以上的质疑混淆了物联网管理视角与物联网应用视角,这种视角的混乱将造成物联网研究和技术开发方面的概念混乱,不利于物联网的理论研究和技术开发.

4.3 关于物联网中“智能”的分析

物联网与“智能”密切相关,智能电网、智能交通系统都是典型的物联网应用,智能物品(smart object)也作为物联网主要研究的对象.但是,“智能”存在不同的理解和定义,例如,电信界早就出现了智能网与智能业务,能够加载和配置应用的手机也称为智能手机,这些智能的含义是“具有软件灵活控制和处理”的能力.我们也很容易

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

理解物联网应该提供智能服务和智能应用.但实际上,物联网与互联网的一个根本区别就是具有直接连接物品、感知和处理物品信息的能力,这里主要体现在自主连接物品、感知和处理物品的能力.我们认为:物联网特有的能力是“自主操作能力”,这种能力具有自动执行操作的特征,而具有按照操作反馈和预先设定的策略,主动调整自动执行操作方式的能力.所以,自主操作能力并不等于自动操作能力,自主操作能力还具有自动积累知识的能力.

5 结 论

物联网建模是一项十分繁琐和复杂的工作,也是一项梳理物联网理论研究思路和观点的必要工作.国际上对于物联网参考体系的建模方法和相关的建模结果一直存在较大的争议,而这种争议的最终解决既需要依赖严格的理论分析和验证,也需要依赖于实际物联网技术的开发和应用.本文主要从理论方面讨论物联网信息模型的构建方法以及分析所构建的物联网信息模型的应用价值.

本文讨论的物联网信息模型的建模方法和应用分析主要侧重于物联网的技术标准制定.本文构建的信息模型与现有的物联网信息模型存在两个方面的不同:其一是引进了用户实体类,其二是包括了所有物联网的组成部件.这样有利于全面描述和分析需要标准化的物联网技术.有关物联网信息模型在实际物联网技术开发方面的应用有待今后的进一步完善,有关本文构建的物联网信息模型的形式化验证也是今后需要进一步完善的工作.

本文并没有详细讨论物品的语义标注、语义查找和语义处理的问题.这确实是物联网需要涉及的问题,但是否一定需要在物联网统一处理物品语义,这是一个值得商榷的学术问题.我们认为:大千世界物品丰富多样,其中相同词语不同含义的现象比比皆是,较为客观的、易于操作的方法还是在基于各个应用领域、各个应用领域内部的细分领域分别构建识别物品语义的本体库,这些本体库可以通过互联网进行连接和互通,物联网只需根据预设的规则查找所属分类的本体库,语义标注感知的物品数据,就可以解决物联网的语义标注问题;而物联网的语义查找和语义处理可以在服务实体类中增加相关的语义处理方法,并且关联特定领域的本体库,提供服务的语义查找和语义处理.

物联网模型研究的必要性源于物联网的特殊性以及物联网体系结构参考模型的缺失.从互联网发展到物联网面临的一个关键的转变在于:物联网需要直接处理客观世界的物,这就要求互联网从单纯的信息存储、传递和所提供的计算机网络发展成为信息自主获取、存储、传递、处理和提供的信息网络.研究物联网信息模型,可以为研究和开发物联网自主获取信息和处理信息提供理论上的依据.

致谢 本文的相关研究结果源于国内外参与 ITU-T 有关物联网技术标准制定的相关专家的讨论.我们感谢续合元、李海花、贾雪琴、徐晖、李健、吴彤、罗松、Marco Carugi、Yoshinori GOTO 和 Alessandro Bassi 等国内外同事对本文相关研究工作的意见和建议;感谢审稿专家提出的十分专业的意见和建议.在此,我们也向对本文的工作给予支持和建议的其他同事或同行表示感谢.

References:

[1] Int’l Telecommunication Union ITU. ITU Internet reports 2005: The Internet of things. 2005.

[2] Zorzi M, Gluhak A, Lange S, Bassi A. From today’s Intranet of things to a future Internet of things: A wireless and mobility related view. IEEE Wireless Communications, 2010,17(6):44−51. [doi: 10.1109/MWC.2010.5675777]

[3] Int’l Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Section (ITU-T). Next generation networks—Frameworks and functional architecture models—Overview of the Internet of things. Recommendation ITU-T Y. 2060, Geneva:ITU, 2013.

[4] Carrez F, ed. Final architectural reference model for the IoT v3.0. Internet-of-Things Architecture (IoT-A) Project Deliverable D1.5. 2013. http://www.iot-a.eu/public/public-documents/d1.5/view

[5] Int’l Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Section (ITU-T). Information technology—Open system interconnection—Basic reference model: The basic model. ITU-T Recommendation X.200, 1994.

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn

[6] De S, Barnaghi P, Bauer M, Meissner S. Service modeling for the Internet of things. In: Proc. of the 2011 Federated Conf. on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). IEEE, 2011. 949−955.

[7] Zakriti A, Guennoun Z. Service entities model for the Internet of things: A bio-inspired collaborative approach. In: Proc. of the 2011 Int'l Conf. on Multimedia Computing and Systems (ICMCS). IEEE, 2011. 1−5.

[8] Perera C, Zaslavsky A, Liu CH, Compton M, Christen P, Georgakopoulos D. Sensor search techniques for sensing as a service architecture for the Internet of things. IEEE Sensors Journal, 2014,14(2):406−420. [doi: 10.1109/JSEN.2013.2282292]

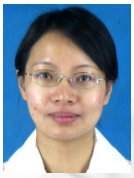
[9] Xu LD, He W, Li SC. Internet of things in industries: A survey. IEEE Trans. on Industrial Informatics, 2014. [doi: 10.1109/TII.2014.2300753]

[10] Dhananjay S, Gaurav T, Jara AJ. A survey of Internet-of-things: Future vision, architecture, challenges and services. In: Proc. of the 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT). IEEE, 2014. 287−292.

[11] Chen H, Jia XQ, Li H. A brief introduction to IoT gateway. In: Proc. of the IET Int'l Conf. on Communication Technology and Application (ICCTA 2011). IET, 2011. 610−613. [doi: 10.1049/cp.2011.0740]

[12] Palattella MR, Accettura N, Vilajosana X, Watteyne T, Grieco LA, Boggia G, Dohler M. Standardized protocol stack for the Internet of (important) things. Communications Surveys & Tutorials, 2013,15(3):1389−1406. [doi: 10.1109/SURV.2012.111412.00158]

[13] Sheng ZG, Yang SS, Yu YF, Vasilakos AV, Mccann JA, Leung KK. A survey on the IETF protocol suite for the Internet of things: Standards, challenges, and opportunities. Wireless Communications, 2013,20(6):91−98. [doi: 10.1109/MWC.2013.6704479]



毛燕琴(1981－),女,江西南昌人,博士生,讲师,CCF 会员,主要研究领域为物联网服务模型,网络安全,嵌入式系统.
E-mail: yqmao@njupt.edu.cn

沈苏彬(1963－),男,博士,研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为物联网体系结构及其协议,物联网应用技术,网络安全,分布式计算,嵌入式系统.
E-mail: sbshen@njupt.edu.cn

© 中国科学院软件研究所 http://www.jos.org.cn