

# 覆盖网络上物联网 workflow 框架的设计

魏 歌

(长沙学院 计算机科学与技术系, 湖南 长沙 410003)

**摘 要:**针对物联网 workflow 系统的构建,文中提出一种通用的实现方法。遵照 YD/T 2437—2012 标准给出的框架,把网络/业务网络层中的应用支撑网,作为支撑虚拟的覆盖网络的基础。在此框架中,覆盖网络被视为一种物联网应用开发的支持平台。在此基础上,参照 workflow 管理联盟对于 workflow 系统框架建立的要求,对该系统的建立、运行和实现的三个阶段及其内部结构进行了设计。通过在此框架中的层次结构、功能及其相互关系等方面的问题逐一得到处理,这些方法得到了进一步的说明。

**关键词:**物联网; workflow 系统; 覆盖网络; 应用开发平台

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2016)08-0195-05

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2016.08.042

## Design of Internet of Things Workflow Framework on Overlay Network

WEI Ge

(Department of Computer Science & Technology, Changsha University, Changsha 410003, China)

**Abstract:** In order to construct the workflow system on the Internet of Things (IoT), a general approach is put forward as the way of implementing it. According to given framework under the standard YD/T 2437—2012, the application supporting network in network layer/business network layer are regarded as the basis of supporting virtual overlay network. In this framework, the overlay network is considered a kind of the Internet of Things platform for the support of application development. And on this basis, according to the requirements of Workflow Management Coalition (WfMC) to establish workflow system framework, three stages of the system (the establishment, operation and implementation) and their internal structure are designed. These methods receive further explanation by problems with hierarchy, functions and their mutual relations in the framework to be tackled one by one.

**Key words:** IoT (Internet of Things); workflow system; overlay network; application development platform

### 1 概 述

在物联网的概念提出之前, workflow 的技术路线发展已相当成熟。伴随物联网业务的拓展,近几年来,已有一些文献提及对 workflow 研发的需求。文献[1]指出物理对象或“事物”的物理位置的改变,一定情况下提供 workflow 中的上下文相关特征。文献[2]强调 workflow 在物联网中起到了至关重要的作用。通过面向服务架构(SOA)的方法,使得业务过程的开发成为协调服务的工作流设计<sup>[3-4]</sup>。文献[5]专注于物联网中的面向服务计算,提出面向 workflow 属性的访问控制模型。物联网 workflow 还必须是适应新的分散途径业务流程的智能对象<sup>[6-7]</sup>。为此,物联网中间件在现实企业应用中需要一个强有力的过程 workflow 和涉及互操作性的组织方面的相关语义 Web 服务的支持<sup>[8]</sup>。

结合物联网的特点和 workflow 建模的要求,有的文献选择基于端对端的覆盖网络(P2P 网络)上的 workflow 设计途径<sup>[3]</sup>。为了支持各种外部设备、传感器和服务的互操作,并无缝集成进入到主流的企业系统中,文献[8-10]提供了物联网与服务方法的 linksmart 中间件平台的设计。该平台把面向服务架构、端对端(P2P)组网和 Web 语义服务技术开发进行了组合。但是,在已查阅的文献中,基于物联网系统的应用开发平台,提供通用的 workflow 系统的开发实现途径的研究,尚未被考虑。

物联网 workflow 系统就是建立在物联网上的一个软件系统,它在物联网上完成 workflow 的定义和管理,并按照计算机中预先定义好的 workflow 逻辑推进 workflow 实例的执行<sup>[11]</sup>。物联网运行在异构环境下,系统前端的分

收稿日期: 2015-04-24

修回日期: 2015-08-12

网络出版时间: 2016-07-29

基金项目: 湖南省教育厅科研基金项目(13C1085); 长沙市科技计划项目(K1309022-11)

作者简介: 魏 歌(1974-),男,硕士,高级实验师,CCF 会员,研究方向为计算机应用、无线传感网、物联网。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160729.1833.012.html>

布式使得物联网资源存在多样性,不能排除对工作流运行状况造成影响。目前物联网的研究聚焦在前端,对后端重视不够,有学者建议需要有针对性地推进后端的研发<sup>[12]</sup>。物联网 workflow 管理系统的建立,更多关注的是用计算机能理解和执行的形式对工作流的表达,主要依赖物联网的后端。在物联网的 workflow 框架模型的设计中,要求过程定义采用覆盖网络上的节点来表达。考虑物联网的实际情况,工作流运行在异构环境下要面临诸多的不确定性,所设计的物联网 workflow 管理系统应该具备环境交互性和自适应性<sup>[13]</sup>。

## 2 物联网上的 workflow 框架模型

多层网络架构中,覆盖网络的设置与应用层较紧密。文献[14]在需求描述层和底层之间建立虚拟的 PSN,使得基于协议描述的需求可以平滑地映射到底层。应用被部署并不意味着该应用的实现<sup>[15]</sup>。从业务需求描述的视角,因为覆盖网络子层的提出,应用层的业务需求被解耦为业务需求模型和覆盖网络上的覆盖网元及其拓扑结构。网元及其拓扑结构不是业务需求模型,而是为业务需求描述提供一个软件支撑。从应用支撑网作为承载覆盖网络的基础的视角,覆盖网元的设计依赖下端接口接入的应用支撑网元。物联网底层的基础设施向应用支撑网提供所需的资源,使得覆盖网元的业务活动转化为应用支撑网元的业务实例成为可能。文献[8]的应用层包含可定制的用户应用程序,即包括 workflow 管理模块。基于 P2P 的覆盖网络

workflow 系统是一种新的 workflow 管理系统,符合下一代 workflow 管理系统去中心化的发展趋势,更好地反映了工作流的分布特性和群组协作的社会属性<sup>[16]</sup>。所以,根据 YD/T 2437—2012<sup>[17]</sup> 的三层架构(见图 1),给出物联网 workflow 框架模型。该模型由节点组合容器、感知延伸代理、应用支撑网和覆盖网络组成。图 1 左侧涉及 workflow 系统的三个阶段:

- (1) 在建立阶段考虑 workflow 的过程定义;
- (2) 在运行阶段考虑 workflow 的执行与控制;
- (3) 在实现阶段考虑 workflow 应用的实现。

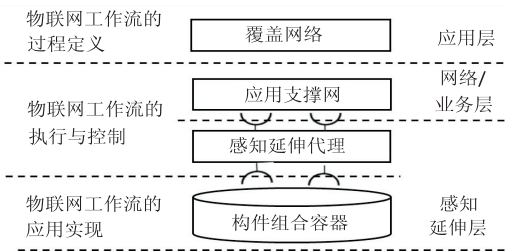


图 1 YD/T 2437—2012 物联网上的 workflow 框架模型

图 1 中,物联网 workflow 定义依托在应用层的覆盖网络子层;物联网 workflow 的执行与控制运行在网络/业务网络层中的应用支撑网,并通过感知延伸层的感知延伸代理获得底层的支持;物联网 workflow 的应用交付给感知延伸层的节点组合容器来实现。

## 3 物联网 workflow 系统的三个阶段

物联网 workflow 系统的三个阶段及其内部结构如图 2 所示。

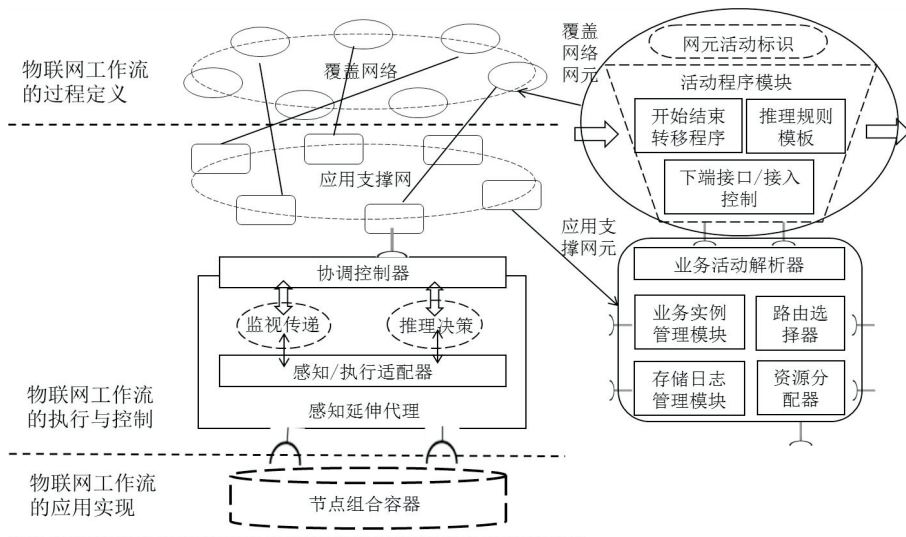


图 2 物联网 workflow 系统的三个阶段及其内部结构

### 3.1 覆盖网络上的 workflow 定义

基于服务聚类的分布式 workflow 系统结构,业务流程中任务之间的逻辑关系被分布到各执行节点中<sup>[18]</sup>。在这里,没有拘泥于 workflow 定义与 workflow 实例运行分离的传统。为完成预定目标而定义 workflow,由多个业

务活动及它们之间的关联所构成,可以映射到覆盖网络上,通过覆盖网元及它们之间的连接来描述。定义在覆盖网元上的业务活动,是业务需求的计算化表示形式,用来支持业务的自动化处理的最小逻辑单位。workflow 定义工具依托覆盖网络上的业务活动,构建抽

象的工作流。覆盖网元的内部结构(见图2右侧上端)包括:使用逻辑标识符来表示的网元活动标识和生成 workflow 定义的活动程序模块。活动程序模块包含推理规则模板、开始结束与转移条件,以及下端接口接入控制等程序。其中,推理规则模板负责绑定网元活动及其拓扑结构相应的程序,用以生成覆盖网元上的业务活动的一个服务链,进行 workflow 的合成;开始结束与转移程序,包括业务活动的开始条件、结束条件与转移条件,执行队列管理以及对它们的检验;下端接口/接入控制程序中,下端接口接入对应的应用支撑网元,接入控制给出该网元由此产生的业务实例。workflow 定义工具负责识别用户的请求,协调整个工作流模型中的各个业务活动,根据用户的需要提交给相应的覆盖网元。定义在覆盖网元上的业务活动被组织起来,合成为 workflow 过程的定义。以覆盖网元作为 workflow 过程的业务活动节点,在网元的活动程序模块的开始结束与转移程序上保存节点执行过程的执行队列管理信息,并通过下端接口/接入控制程序将这些信息传输到对应的应用支撑网元。每当有应用支撑网元的业务实例执行完毕,返回执行状态的信息到活动程序模块,它将启动结束或转移的程序。如果需要进行下一轮运行时,按照 workflow 过程的定义,覆盖网元将启动转移程序触发新的覆盖网元,开始新一轮的后继应用支撑网元来执行相应的业务实例,从而实现业务的自动化处理进程。

### 3.2 物联网上 workflow 的执行与控制

#### 3.2.1 应用支撑网对 workflow 的执行与控制的支持

在物联网网络分层结构中,通常的覆盖网络被配置在网络层,分簇的事件代理形成的拓扑结构<sup>[19-20]</sup>。在这里,将通常的覆盖网络剥离开来,形成应用层的覆盖网络和位于网络/业务层的应用支撑网子层。按 YD/T 2437—2012 的规定,应用支撑网子层具有网络的连接能力、支撑信息的双向传递和控制的能力。实际上,这也就是直观上说的物联网,可以看成是智能物品的互联<sup>[21]</sup>。通常它的网元也可以具有互联网一致的 IP 或 IPv6 地址,具有端到端(P2P)的通信能力<sup>[22]</sup>。由于物联网 workflow 本身所具有的分布性特征,要求相应的工作流管理系统能够实现对 workflow 模型分布式执行的功能。把覆盖网络上的过程定义与应用支撑网元进行绑定,一方面,由于这种一一对应的关系,使得每一个应用支撑网元的业务实例能够直接适应每一个业务活动。另一方面,覆盖网元上存放有 workflow 过程定义的业务活动执行的信息。每一个覆盖网元被激活后,都能独立地启动结束或转移的程序,完成 workflow 的业务过程的自动执行。因此,覆盖网元与应用支撑网元的绑定,能够实现分布式 workflow 引擎的执行功能。

应用支撑网的功能将通过该网络的网元结构(见图2右侧下端)和组网结构来体现。业务活动解析器是覆盖网元的业务活动转化为应用支撑网元的业务实例的入口。当应用支撑网的网元读取到对应的覆盖网元传输的业务活动执行过程信息,包括活动标识符、输入与输出的控制连接、开始结束与转移条件等。通过业务活动解析器对覆盖网元定义的业务活动进行解析,提供业务活动对应的应用支撑网元,进行初始化,并激活该应用支撑网元,业务实例管理工具负责执行的业务实例的取消、挂起、重新启动等操作,并将执行状态信息发送到路由选择器,根据该业务活动过程列举后继应用支撑网元,形成路由选择表保存到业务实例管理模块。该模块还承担上传下达的功能,对上下层间的数据通信格式进行统一,并且屏蔽底层及上层系统的异构性。完成业务实例后,业务实例管理模块负责将业务实例执行相关的信息返回对应的覆盖网元。如果覆盖网元将启动转移程序触发新的覆盖网元,开始新一轮的后继应用支撑网元来执行相应的业务实例时,路由选择器负责将业务实例执行相关的信息传输到后继应用支撑网元。因此,要求它实现多网络间协议的转换,封装和解码相关数据包。此外,还要启动资源分配器分配具体执行需要的资源。资源分配器事先储存来自感知/执行延伸代理中的资源项的信息,建立网元/资源项表,具有读取和配置资源项的功能。当一个应用支撑网元被激活后,资源分配器负责读取网元/资源项表,绑定应用支撑网元/资源项,完成资源分配的过程。系统涉及激活后应用支撑网元/资源项比较多时,必须开辟一个缓冲区,把最常使用的应用支撑网元/资源项进行记录,以规范的文档格式存储在存储日志管理模块中,此外还涉及异常情况的记录。

#### 3.2.2 感知延伸代理对 workflow 的执行与控制

感知延伸代理具有物联网网关的功能<sup>[23]</sup>。对应 YD/T 2437—2012 的规定,感知延伸层中物联网的接入网关、智能控制等部件纳入感知延伸代理。一方面将底层的节点组合接收到的环境状态信息进行解释和分类后,并将其分配到相关的部件中;另一方面截取来自物联网网络/业务层的消息,并向节点组合容器发起会话,实现节点构件之间的动态协作,完成来自应用支撑网的网元的业务部署。所以,物联网 workflow 的执行与控制运行需要通过感知延伸代理获得底层的支持; workflow 的应用要通过感知延伸代理交付给感知延伸层的节点组合容器来实现。值得注意的是,覆盖网元之间或者应用支撑网元之间涉及网络/业务网络层,存在数据传输的依赖关系。但是,位于感知延伸层的感知延伸代理相对独立,是离散的,它们之间没有数据传输的依赖性,控制问题主要体现在资源的分配与搜索,通



过满足条件的制定和限制,构建来自 workflow 定义的任务的实现策略。

感知延伸代理置于节点组合容器之上,包含两个模块(协调控制器和感知/执行适配器),并对节点组合容器提供相关的管理接口和功能接口(如图 2 中部所示)。感知/执行适配器负责将节点组合容器中异构性的感知/执行资源描述文件核实,进行统一抽象,转换成规范的资源功能描述格式进行缓存。然后,通过监视传递解析上报,由协调控制器发送到应用支撑网元进行注册,建立网元/资源项表。执行资源调用时,将资源项发送到协调控制器。然后通过推理决策,转换成相应的资源功能描述格式,感知/执行适配器将资源功能描述格式发送到节点组合容器,调用相关的节点组合。

### 3.3 基于节点组合容器的工作流应用的实现

物联网工作流的执行到实现所关注的是用户的业务过程请求怎样才能获得基础设施的响应并在相应的实例中准确地获得执行与实现,它更多地依赖物联网系统的前端。前端的物联网低层的异构的基础设施资源存在多样性,影响工作流实现时所执行工作流实例绑定的资源的要求。因此,屏蔽处理这些资源,是物联网开发的关键之一。IoT-A 以简单设备和其他的(物联网外部)服务为基元进行资源的复杂性处理和简单化。同理,根据 YD/T 2437—2012 标准,提出节点组合容器的概念。将物联网终端、物联网端、感知延伸网等节点,按照业务功能进行节点组合。节点组合可以独立部署或被组装,并在此基础上构建节点组合容器。物联网的感知延伸层的部件及其相应功能,都将融入到节点组合容器和感知延伸代理这两个主要成分中。为了有效指导物联网软件体系结构开发,文献[24]提出了 3 个模型(物理模型、感知模型和应用模型)组成的架构设计。而节点组合容器就起着物理模型的作用(见文献[25])。

## 4 实 例

家居智能系统是一个复杂的系统<sup>[26]</sup>。该系统需要组合服务来进行实时控制,可以采用工作流建模<sup>[27-28]</sup>。通过实践,有如下体会。

### 4.1 家居智能的工作流定义

该定义涉及室内环境调节、室内灯光调节、安防监控和健康监护等多项并行的工作流的启用、运行和停止的自动操作。实例中的覆盖网元的构建关键是推理规则模板的设计。通过实践,此项工作可以依托智能家居业务活动的需求和业务实例执行形成路由选择表的历史数据记录,获得业务活动上下文的拓扑结构的一个推理规则。

### 4.2 智能家居的应用支撑网

在家居智能系统中,要求克服两个方面的困难。一个方面是业务活动解析器的设计。业务活动解析器是覆盖网元的业务活动转化为应用支撑网元的业务实例的入口。当应用支撑网的网元读取到对应的覆盖网元传输的业务活动执行的大量过程信息,业务活动解析器成为瓶颈。另一个方面是解决后继应用支撑网元的触发问题。完成业务实例后,如果覆盖网元将启动转移程序触发新的覆盖网元,开始新一轮的后继应用支撑网元来执行相应的业务实例时,路由选择器负责将业务实例执行相关的信息,传输到后继应用支撑网元。但应用支撑网元之间链路不存在。因此,要求访问网内的其他中继节点后到达。所以,该实例挖掘了应用支撑网系统,对每个节点添加了一个定位和路由协议,用于维护覆盖网结构完整,确保完成后继应用支撑网元的触发。

### 4.3 智能家居的感知延伸代理

感知延伸代理是封装好的具有智能家居系统控制功能的控制器硬件和软件,支持对智能家居分子系统的节点组合容器的管理和控制,并支持来自应用支撑网元根据 workflow 定义的预先安排。一方面,在 workflow 执行前,感知延伸代理采集来自节点组合容器中的各种家庭服务资源的信息。通过感知/执行适配器负责核实,监视传递,统一描述格式,由协调控制器解析上报应用支撑网元,使得工作流的执行符合家庭服务的需要。另一方面,感知延伸代理还要具体执行家居 workflow 定义涉及的对服务资源的安排。在这种情况下,应用支撑网元将涉及家居智能系统的资源项发送到协调控制器。然后,通过推理决策,感知/执行适配器将相应的功能描述格式发送到节点组合容器,启用、运行和停止相关的家庭资源节点组合,实现智能照明、家电控制、家庭安防、家庭能源管理等功能。

### 4.4 家居智能的节点组合容器

作为节点组合容器涉及的节点组合实例,可参照 2012 年中国室内装饰协会智能化委员会提出的智能家居子系统分类。该分类分别列举了它们的功能、实现的技术和组成。智能家居的子系统均采用单片机组装在节点组合容器中来实现特定的感知和执行功能,它的资源描述模块将这些独立部署的感知/执行资源描述文件进行缓存。通过连接到的感知延伸代理,形成智能家居工作流实现的稳定的基础结构。

## 5 结束语

文中基于覆盖网络的物联网框架,将工作流系统涉及的三个阶段纳入物联网的三层架构,提出了物联网的工作流框架模型,给出了构建物联网上工作流系

统的设计方案。在此基础上,分别对三个阶段的设计进行了详细的阐述,为开发者提供了一个通用的设计途径。最后,通过家居智能系统设计的案例对该框架进行说明,对需要解决的关键问题进行了分析,进一步为应用开发提供借鉴。

构建物联网工作流系统有利于物联网后端的发展。然而,如何提供一种通用框架是尚未解决的问题之一。所以,该框架的构建对这个领域的探讨提供了新的视角,希望有助于该系统更好地发展和完善。

#### 参考文献:

- [1] Sundmaeker H,Guillemin P,Friess P,et al. Vision and challenges for realising the internet of things[C]//Proc of CERP-IoT. [s. l. ]:[s. n. ],2010.
- [2] Zhou Zude,Valerdi R,Zhou Shangming,et al. Guest editorial special section on IoT[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics,2014,10(2):1413-1416.
- [3] Atzori L,Iera A,Morabito G. The internet of things:a survey [J]. Computer Networks,2010,54:2787-2805.
- [4] 罗国涛,裴 广,邓祖朴,等. 面向物联网的工作流服务架构模型[J]. 计算机应用与软件,2014,31(2):9-13.
- [5] Zhang Guoping,Liu Jing. The study of access control for service-oriented computing in internet of things[J]. International Journal of Wireless and Microwave Technologies,2012,2(3):62-68.
- [6] Kortuem G,Kawsar F,Fitton D,et al. Smart objects as building blocks for the internet of things[J]. IEEE Internet Computing,2010,14(1):44-51.
- [7] Kunz S,Fabian B,Ziekow H,et al. From smart objects to smarter workflows - an architectural approach [C]//Proc of 15th IEEE international enterprise distributed object computing conference workshops. Helsinki:IEEE,2011:194-203.
- [8] Kostelnik P,Sarnovsk M,Furdik K. The semantic middleware for networked embedded systems applied in the Internet of Things and Services domain[J]. Computing:Practice and Experience,2011,12(3):307-315.
- [9] Furdik K,Lukac G,Sabol T,et al. The network architecture designed for an adaptable IoT-based smart office solution[J]. International Journal of Computer Networks and Communications Security,2013,1(6):216-224.
- [10] Furdik K,Lukac G. Events processing and device interoperability in a smart office IoT application [C]//Proceedings of the 23rd central European conference on information and intelligent systems. University of Zagreb,Croatia:[s. n. ],2012:387-394.
- [11] 范玉顺,罗海滨,林慧苹,等. 工作流管理技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [12] 韩燕波,赵卓峰,王桂玲,等. 物联网与云计算[J]. 中国计算机学会通讯,2010,6(2):58-62.
- [13] Serbanati A,Medaglia C M,Ceipidor U B. Building blocks of the internet of things:state of the art and beyond[M]//Deploying RFID-challenges, solutions, and open issues. [s. l. ]:[s. n. ],2011.
- [14] 李 扬,怀进鹏,郭慧鹏,等. 一个基于服务层叠网的分层服务组合框架[J]. 软件学报,2007,18(12):2967-2979.
- [15] Meissner S,Nec D D,Tid G M. Internet of things architecture IoT-a project deliverable D2.1-resource description specification[R]. [s. l. ]:[s. n. ],2012.
- [16] 高 磊,曾广周. SAN-EBON:一种基于结构化对等网的P2P工作流系统节点定位网络[J]. 计算机学报,2010,33(12):2353-2363.
- [17] 中国工业和信息化部. 物联网总体框架与技术要求(YD/T 2437-2012)[S]. 北京:人民邮电出版社,2013.
- [18] 叶 双,叶剑虹,刘传才. 分布式工作流管理系统中的一种资源搜索策略[J]. 计算机集成制造系统,2012,18(8):1719-1725.
- [19] 赵志军,沈 强,唐 晖,等. 物联网架构和智能信息处理理论与关键技术[J]. 计算机科学,2011,38(8):1-8.
- [20] 乔秀全,章 洋,吴步丹,等. 事件驱动、面向服务的物联网服务提供方法[J]. 中国科学:信息科学,2013,43(10):1219-1243.
- [21] 陈海明,崔 莉,谢开斌. 物联网体系结构与实现方法的比较研究[J]. 计算机学报,2013,36(1):168-188.
- [22] 胡光武,陈文龙,徐 恪. 一种基于IPv6的物联网分布式源地址验证方案[J]. 计算机学报,2012,35(3):517-528.
- [23] 侯 琛,赵千川,李海涛,等. 物联网中的嵌入式终端[J]. 电子测量技术,2014,37(10):113-118.
- [24] 谢开斌,陈海明,崔 莉. PMDA:一种物理模型驱动的物联网软件体系结构[J]. 计算机研究与发展,2013,50(6):1185-1197.
- [25] 魏 歌. 基于覆盖网络的物联网系统的应用开发平台[J]. 物联网技术,2015,5(3):77-79.
- [26] Karnouskos S. The cooperative internet of things enabled smart grid[C]//Proceedings of the 14th IEEE international symposium on consumer electronics. [s. l. ]:IEEE,2010:7-10.
- [27] 朱 匆,刘 宏,李文博. 基于专家系统工作流技术在智能家居中的应用[J]. 计算机技术与发展,2008,18(9):205-208.
- [28] 叶 林,汤 瀑,郭立鹏,等. 基于混成系统的物联网服务建模与验证[J]. 小型微型计算机系统,2013,34(12):2263-2268.