

基于本体的物联网设备资源描述模型

王书龙^{1,2}, 侯义斌^{1,2}, 高放^{1,2}, 及歆荣^{1,2}

- (1. 北京工业大学北京未来网络科技高精尖创新中心, 北京 100124;
2. 北京工业大学北京市物联网软件与系统工程技术研究中心, 北京 100124)

摘要: 针对目前物联网领域缺乏对海量异构设备的统一描述问题, 提出基于本体的物联网设备资源描述模型, 在分析资源特点的基础上, 将设备划分为属性、状态、控制、历史信息 and 隐私 5 个方面的类资源进行综合描述. 通过智慧办公室应用实例, 使该模型得到具体实现和应用. 实验结果表明: 该模型能够支持丰富的物联网接入设备和业务功能, 具备良好的应用价值和前景.

关键词: 资源描述; 物联网; 接入设备; 本体

中图分类号: TP 393

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2017)05-0762-08

doi: 10.11936/bjtxb2016070073

Ontology-based Resource Description Model for Things in IoT

WANG Shulong^{1,2}, HOU Yibin^{1,2}, GAO Fang^{1,2}, JI Xinrong^{1,2}

- (1. Beijing Advanced Innovation Center for Future Internet Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;
2. Beijing Engineering Research Center for IoT Software and Systems, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Considering the lack of unified description model for massive heterogeneous devices in Internet of Things (IoT), an Ontology-based Resource Description Model (ORDM) was proposed in this paper. Based on the analysis of resource characteristic, all the resources were described from attribute, state, control, historical information and privacy classes. In the application of smart office, the ORDM was implemented and applied. The experiment results show that the proposed model can support the rich access devices and business functions in IoT, which has good prospects for application.

Key words: resource description; Internet of Things; access devices; ontology

物联网(Internet of Things, IoT)起源于1999年,最早由MIT Auto-ID中心主任Kevin Ashton教授提出^[1].随着社会进步和科技发展,其概念和内容也在不断更新.目前,普遍认可的定义是国际电信联盟(ITU)发布的ITU互联网报告,其对物联网做了如下定义:通过二维码识读设备、射频识别(radio frequency identification, RFID)装置、红外感应器、全

球定位系统和激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络^[2-3].

根据以上定义可以得出:物联网是物物相连相通的网络,其基础是无处不在的各式各样的“物”.物联网主要目的就是实现这些物的接入,进而实现

收稿日期: 2016-07-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61502018)

作者简介: 王书龙(1988—),男,博士研究生,主要从事嵌入式计算、物联网技术与应用方面的研究, E-mail: wangshulong@emails.bjut.edu.cn

通信作者: 侯义斌(1952—),男,教授,博士生导师,主要从事软件工程、嵌入式计算、物联网技术与应用方面的研究, E-mail: ybhoul@bjut.edu.cn

各类智慧应用^[4-5]。而物联网下的“物”主要是指在现实环境中存在的具备感知识别、信息交互和控制的任何设备和资源,小到一颗传感器芯片,大到一座楼宇建筑,都在物联网的接入范畴之内。目前,典型的物主要包含各类传感器、执行器、RFID设备、M2M终端和传感器网关等设备^[6-7]。这些设备在丰富物联网的接入范围的同时,由于其海量性和相互之间的异构性,也增加了物联网接入的复杂性。因此,如何屏蔽设备之间的异构性并对其进行统一的资源描述,是实现设备之间信息和数据共享的前提,也是各类物联网应用的基础^[7]。

针对以上问题,目前国内外开展了较为丰富的相关研究,并取得一定的成果。其中,Zhang等^[8]提出一种基于本体的多维度物联网资源模型,并将其属性划分为功能、位置、时间、隐私等。Nambi等^[9]提出一种物联网下知识语义库,在结合物联网多层架构的基础上,分别提出资源本体、位置本体、上下文及域本体、策略本体和服务本体。Santos等^[10]针对嵌入式资源提出一种资源描述语言(resource description language,RDL),该语言从功能、需求和限制三方面描述设备资源,并分别通过可扩展标记语言(extensible markup language,XML)和KLV(key-length-value)文件格式予以实现。以上多项研究在对资源的描述角度方面不够全面,内容上存在较大分歧,并且在实现方式上过于复杂。Xu等^[11]针对医疗救护系统提出一种基于语义的数据模型,该模型将医疗资源描述划分为实体资源、复合资源和状态转移资源,通过该数据模型能够较为完善地描述整个医疗急救环节中的各类实体和业务资源。De等^[12]提出面向服务对物联网的海量非资源受限性实体进行本体描述,在此基础上进一步对资源和服务进行本体描述。以上2项研究仅针对某一特定应用领域或实体,具有一定的局限性,缺乏对海量物联网设备的描述支持。

从以上研究成果中可以看出,利用本体来解决物联网设备的异构性问题是目前主要的研究趋势。由于本体语言自身良好的语法、语义及丰富的表达能力等特点,使其能够满足对物联网设备的资源描述需求。基于以上分析,本文提出一种基于本体的物联网设备资源描述模型。该模型对物联网的设备进行属性分析和资源抽象,通过本体建模实现对设备的统一资源描述,最终实现设备之间的信息和数据共享。一方面,该模型能够屏蔽设备之间的异构性,从较为全面的角度对海量物联网设备进行统一

资源描述。另一方面,模型采用JSON语言予以实现,在减少储存占用空间和复杂度的同时,便于对物联网应用进行大规模部署。

1 基于本体的物联网设备资源描述模型

作为物联网的实体设备,需要通过一系列的抽象描述才能成为一个有效利用的资源。本文针对物联网设备特点,基于本体对其进行资源建模,以实现物联网设备的统一资源描述,最终形成基于资源的服务发布方式。图1展示了典型的物联网设备的抽象描述过程。



图1 物联网设备抽象描述过程

Fig.1 Abstract description of the IoT devices

在设备层存在海量物联网的设备,这些设备相互异构,种类繁多,比如传感器、执行器、RFID设备等。以上设备在资源层根据设备特征被抽象为各类资源,比如传感器设备抽象为感知资源,执行器抽象为控制资源等。最后,各类资源以统一的接口实现服务发布,进而实现各类业务功能和应用。

1.1 基于本体的建模过程

本体最早应用在哲学领域,是对客观存在的系统性的解释说明,是共享概念模型的形式化规范说明。哲学上本体的概念在思想上引导了信息技术、人工智能和知识工程等领域本体的相关研究及应用。本体主要是通过对某个领域内的知识进行统一的表示和组织来解决该领域中的知识共享和重用方面的问题^[13]。目前,本体已经被广泛应用于知识工程、数字图书馆、软件复用、信息检索、多智能体系统、系统建模、异构信息集成、语义Web等领域。

本体构建,是从某个领域中抽取知识,形成描述该领域数据的语义概念、实例和其间的关系。

本文中,采用Perez等^[14]提出的分类法建立本体模型,将建模元素归纳为5类基本的建模源语,分别为类(classes)、关系(relations)、函数(functions)、公理(axioms)和实例(instances),得到如下本体

模型:

$$O = \{ C, R, F, A, I \} \quad (1)$$

式中: C 代表类的概念,可进一步细分为各个基本类 C_i ,每个基本类又可继续分为各个子类 C_{ij} ; R 代表类之间的交互关系,主要包含整体与局部(part-of)、继承(kind-of)、实例化(instance-of)和属性(attribute-of)四类关系; A 代表公理的集合; I 代表实例的集合; F 代表的函数关系可以形式化地定义为

$$F = C_1 \times C_2 \times \dots \times C_{n-1} \rightarrow C_n \quad (2)$$

在以上模型的基础上,本文针对物联网设备的属性和特点进行分析,总结抽象模型中类资源及类之间的相互关系,以此建立物联网下基于本体的资源描述模型总体架构。在此架构基础上,深入分析各个类的详细属性,细化模型。

1.2 物联网设备资源描述模型

目前,对物联网设备的资源描述可以分为以下几个方面:

1) 设备自身携带的信息,主要包含设备的类别信息、设备参数属性、设备提供的控制访问接口等。这类信息可以通过本体归纳为属性类和控制类。

2) 设备生产及反馈的信息,主要包含设备自身的状态信息、设备的控制反馈信息和存储的历史信息等。这类信息可以通过本体归纳为状态类和历史信息类。

3) 设备的用户权限信息。每个设备针对不同的用户具备不同的访问和控制权限,此类信息可以通过本体归纳为隐私类。

其中,历史信息主要针对设备的状态变化和控制操作进行记录,隐私信息则分别针对设备的状态查看、控制操作和历史信息查看进行用户权限控制。

根据以上分析,本文通过属性、状态、控制、历史信息和隐私5个方面来描述一个物联网设备的资源信息,设计相应的类概念,在分析各个类之间相互关系的基础上,建立基于本体的资源描述模型总体架构,如图2所示。

属性类设计用来描述设备自身携带的属性信息,主要分为基本属性、位置属性、生产者属性和所有者属性。其中,基本属性包含设备类别、型号等信息;位置属性包含基于经纬度的位置信息和基于参考物的位置信息;生产者属性主要指生产厂家、批次和生产日期等信息;所有者属性包含所有者、共有者和使用者信息。详细设计如图3所示。

状态类设计用来描述设备的各类状态信息,主要分为工作状态、采集状态和反馈状态等。其中,工

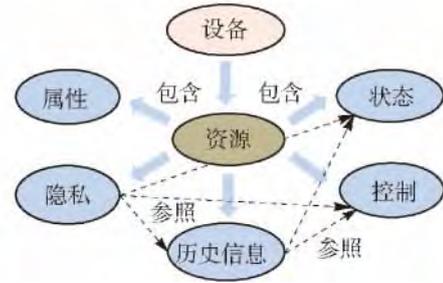


图2 资源描述模型总体架构

Fig. 2 Framework of the resource description model

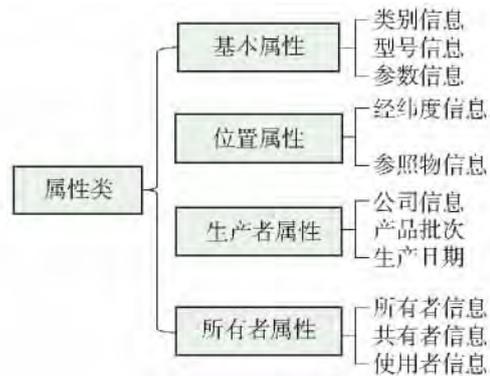


图3 属性类设计图

Fig. 3 Design of the attribute classes

作状态主要包含状态名称和状态值,采集状态指的是具有采集功能的设备采集信息,包含采集类别、采集格式和采集数据等;反馈状态指的是具有控制功能的设备操作反馈信息,包含反馈类别、反馈格式和反馈数据等。详细设计如图4所示。

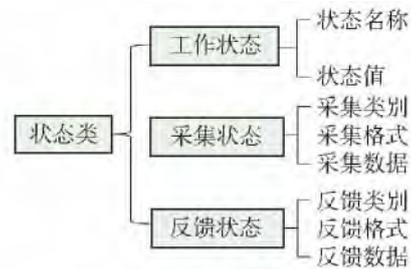


图4 状态类设计

Fig. 4 Design of the status classes

控制类设计用来描述设备提供控制访问的接口信息,主要分为控制类型和控制参数,控制参数又包含参数信息和参数限制信息。详细设计如图5所示。

历史信息类设计用来描述设备存储的各类历史信息,主要分为历史状态信息和历史控制信息。其中,历史状态信息包含状态时间、状态名称和状态值;历史控制信息包含控制时间、控制类型、控制参数和控制用户。详细设计如图6所示。



图 5 控制类设计

Fig. 5 Design of the control classes

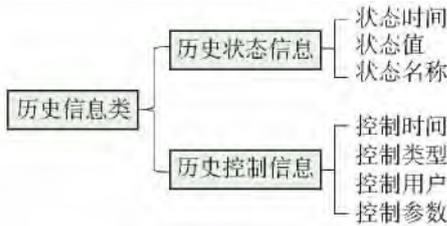


图 6 历史信息类设计

Fig. 6 Design of the history information classes

隐私类设计用来描述设备的访问和控制的权限,主要分为状态访问权限、控制权限和历史信息访问权限。其中每类权限又包含白名单、黑名单和管理员信息。详细设计如图 7 所示。

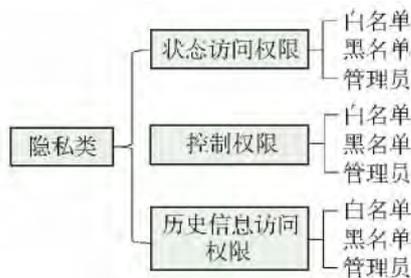


图 7 隐私类设计

Fig. 7 Design of the privacy classes

2 面向智慧办公室的应用

2.1 应用背景

随着人们工作和生活水平的不断提高,智慧办公室在人们实际生活中不断得到应用和实现。作为物联网技术与传统办公室相结合的产物,智慧办公室不仅为人们提供了一个日常工作的场所,同时还提供了一个通过电子化实现的更为舒适、安全和方便的办公环境。但目前市面上的智慧办公室系统普遍存在较多问题^[15-17],比如:环境信息采集能力过弱,仅支持较少数量的传统型传感器,也缺乏对数字摄像头等高速设备的支持,从而不能完整地实现对办公环境的实时环境监测和数据记录;缺乏统一的设备描述模型和数据描述格式,缺乏参考设计模型,导致系统缺乏兼容性。

针对以上问题,本实验设计并实现了基于物

联网技术的智慧办公室系统。该系统除支持基于温度、湿度、光照、人体感应等传感器的基础环境监测外,还支持基于有害气体传感器及 PM2.5 传感器的空气质量检测。此外,系统支持声光类报警设备和高清网络摄像头监控设备。基于以上设备,实现了对办公室室内环境的全面综合监测。

为了将以上各类设备进行统一管理,并有效地实现针对智慧办公室的各类应用功能,本实验基于提出的物联网设备资源描述模型,将以上各个异构设备进行统一的资源描述。基于此,系统屏蔽了底层各个设备之间的异构性,实现了设备之间的信息和数据共享,为最终实现丰富的业务功能和应用奠定了基础。

整个系统的应用场景如图 8 所示,首先,在办公室内分别部署各类传感器,包括传感器光照、温、湿度传感器,人体感应传感器,有害气体传感器和 PM2.5 传感器,通过这些传感器对室内环境数据进行综合采集;然后,在办公室安装部署网络摄像头和蜂鸣器模块,前者用于通过实时视频数据监测办公室状况,后者用于利用声音信息进行报警提示;最后,将以上设备统一接入到智慧办公室设备接入终端,并将数据存储到外置存储设备中,通过位于设备接入终端内的 Web 服务器实现用户访问和数据发布功能。基于以上设计,使该系统能够实现综合性、实时性的办公室环境信息监测,并能够高效地实现数据本地存储和数据发布功能。

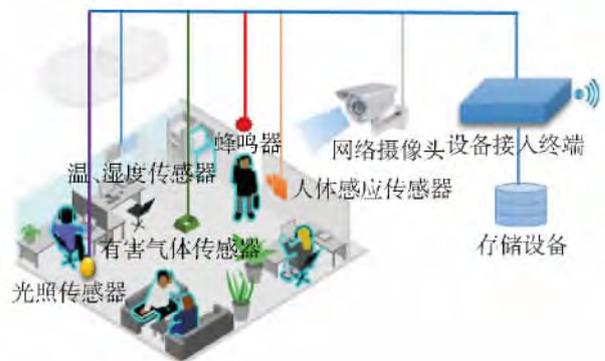


图 8 系统应用场景

Fig. 8 System application scenarios

2.2 统一资源描述

原型系统如图 9 所示,该系统底层接入各种类型的设备,既包含各种不同种类和用途的传感器设备,也存在蜂鸣器等执行器设备。同时,还接有具备视频采集功能的网络摄像头设备。为了屏蔽

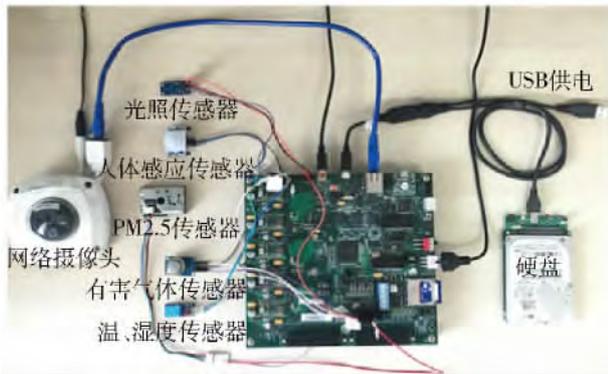


图9 原型系统

Fig.9 Prototype system

以上设备在接口、数据格式上的异构性,实现系统对设备的统一管理,本实验在提出的物联网设备资源

描述模型的基础上,对各个设备进行统一的资源描述.

不同类型的设备具备不同种类的属性和功能,体现在描述模型中就是具备不同的类资源.本实验所涉及的温度、湿度等传感器设备,主要具备环境数据采集功能,可以通过设计状态类资源进行查看.同时,设备自身支持属性、隐私和历史信息,因此,也具备属性、状态、隐私和历史信息类资源.而蜂鸣器可以通过控制发出声音警报,通过设计控制类资源进行管理控制,因此,具备属性、控制、隐私和历史信息类资源.网络摄像头设备在具备视频数据采集功能的同时,也具备拍照控制功能,相应地具备属性、状态、控制、隐私和历史信息类资源.详细的设备类资源分析如表1所示.

表1 设备类资源

Table 1 Class resource of devices

设备名称	型号	属性	状态	控制	隐私	历史信息
温、湿度传感器	DTH11	√	√	×	√	√
光照传感器	GY-30	√	√	×	√	√
人体感应传感器	HC-SR501	√	√	×	√	√
PM2.5传感器	GP2Y1050	√	√	×	√	√
有害气体传感器	MQ135	√	√	×	√	√
蜂鸣器	TELESKY	√	×	√	√	√
网络摄像头	DS-2CD2512	√	√	√	√	√

基于以上分析结果,对系统的每个设备设计对应的类资源,实现整个系统设备的统一资源描述.以湿度传感器为例,详细的资源描述内容实现如图10所示.

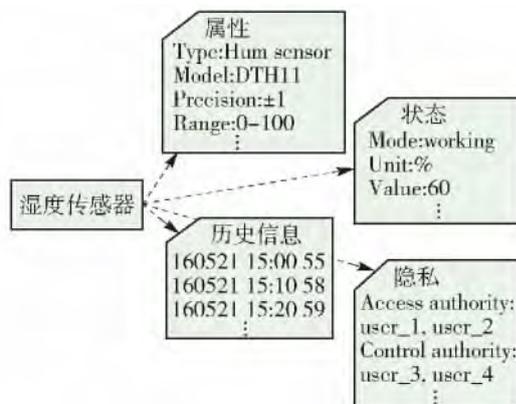


图10 湿度传感器资源描述

Fig.10 Resource description for humidity sensor

通过基于属性、状态、历史信息 and 隐私4种类资源,对湿度传感器进行完整的资源描述.为了将该

资源描述信息进行存储和传输,需要将其以格式化的形式或语言进行描述.目前,针对资源描述较为常见的语言主要有:

1) XML.它是一种用于标记电子文件使其具有结构性的标记语言,可以用来标记数据、定义数据类型,是一种允许用户对自己的标记语言进行定义的源语言.XML非常适合万维网传输,通过提供统一的方法来描述和交换独立于应用程序或供应商的结构化数据.W3C于1998年发布了XML1.0规范,使用它来简化Internet的文档信息传输.

2) JSON(JavaScript object notation).它是一种轻量级的数据交换格式,采用完全独立于语言的文本格式,易于人们阅读和编写,同时也易于机器解析和生成.JSON支持多种语言,包括ActionScript、C、C#、ColdFusion、Java、JavaScript、Perl、PHP、Python、Ruby等服务器端语言,便于服务器端的解析工作.

3) YAML(yet another markup language).它是一种直观地能够被电脑识别的数据序列化格式,是一个可读性高并且容易被人类阅读,容易与脚本语

言交互,用来表达资料序列的编程语言。类似于标准通用标记语言的子集 XML 的数据描述语言, YAML 语法比 XML 更简单,可以简单表达清单、散列表、标量等资料形态。

考虑以上各个描述语言特征和本文提出的资源描述模型特点,本实验采用 JSON 语言作为资源描述实现语言。一方面,JSON 语言的描述能力完全能够实现本文模型所包含的所有内容。另一方面,相对于 XML 语言,JSON 更为简练,并占用更少的存储空间;而相对于 YAML,JSON 在具体开发应用中得到了更广泛的支持。基于此,针对模型中涉及的各种资源,本文设计如下 JSON 格式描述规范:

```
{
  "Device_ID": {
    "Attribute": {
      "type_1": "value_1",
      "type_2": "value_2",
      "type_3": "value_3"
    },
    "Status": {
      "type_4": "value_4",
      "type_5": "value_5",
      "type_6": "value_6"
    },
    "Control": {
      "type_7": "value_7",
      "type_8": "value_8",
      "type_9": "value_9"
    },
    :
  }
}
```

对本实验中湿度传感器的基于 JSON 的完整资源描述文件如下:

```
{
  "1000201605070068": {
    "Attribute": {
      "Type": 12,
      "Mdoel": "DTH11",
      "Precision": "±1",
      "Range": "0 - 100",
      "Response time": "1s"
    },
    "Status": {
```

```
"Mode": 1,
  "Value": 60,
  "Unit": "% "
    },
    "History": {
      "Date - Time - value": [
        "160521 15:00 55",
        "160521 15:10 58",
        "160521 15:20 59",
        "160521 15:30 60",
        "160521 15:40 58"
      ]
    },
    "Privacy": {
      "Access_authority":
        ["Libo", "Alex", "John"],
      "Control_authority":
        ["Alex", "Jone"],
      "History_authority":
        ["Libo", "Alex", "John"]
    }
  }
}
```

在实际应用中,系统针对每个上述资源描述文件进行更新和维护操作。具体来说,针对传感器设备,需要将采集信息定时更新到描述文件中的状态段和历史段;对于执行器设备,需要根据描述文件中的控制段变化来实时地同步相关设备操作,并将操作记录更新到历史段;针对其他设备,也需要根据具体功能进行对应资源描述文件的更新和维护操作。

2.3 业务功能实现

基于以上对系统中各设备的资源描述和维护机制,本系统可以实现设备之间的信息和数据共享,在此基础上实现面向智慧办公室的各类业务功能应用。典型的应用有:

1) 当人体感应传感器探测到非工作时间有人出入办公室的时候,启动摄像头进行拍照操作和录像监控记录。

2) 当温、湿度传感器探测到室内温、湿度较高时,通过扩展红外发射器,打开空调来降低室内温、湿度,始终保持室内的适宜环境。

3) 工作时间内,有害气体传感器或者 PM2.5 传感器检测到空气质量较差时,控制蜂鸣器发出警报音对室内人员进行提醒。

针对功能 1,详细实现过程如图 11 所示。首先,

系统通过定时器定时访问人体感应传感器资源描述文件中的状态段,获取相应的传感数值.然后,当数值显示最近有人经过时,进一步判断当前系统时间是否在工作时间之外,若判断结果为正,则使能摄像头资源描述文件控制段中的拍照位和录像位,系统进行同步操作后控制摄像头进行拍摄照片和录像操作.



图 11 功能 1 实现过程

Fig. 11 Implementation process of the first function

针对功能 2,详细实现过程如图 12 所示.首先,系统通过定时器定时访问温、湿度传感器资源描述文件中的状态段,获取相应的传感数值.然后,当检测到数值高于限制值时,则使能红外发射器资源描述文件控制段中的打开空控制位,系统进行同步操作后控制红外发射器打开空调进行降温除湿操作.同样,当系统检测到温、湿度值降低至限制值范围内时,进行反向操作控制红外发射器关闭空调.

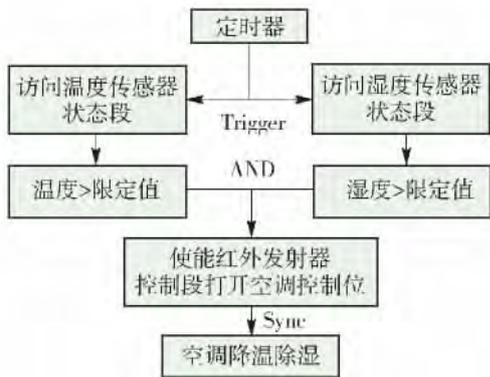


图 12 功能 2 实现过程

Fig. 12 Implementation process of the second function

针对功能 3,详细实现过程如图 13 所示.首先,系统通过定时器定时访问有害气体传感器和 PM2.5 传感器资源描述文件中的状态段,获取相应的传感器数值.然后,当任意传感器数值判断为空气质量

较差时,进一步判断当前系统时间是否在工作时间之内,若判断结果为正,则使能蜂鸣器资源描述文件控制段中的控制位,系统进行同步操作后控制蜂鸣器发出警报,提醒室内人员注意空气质量状况.反之,当系统检测到空气质量恢复至正常值范围内,控制蜂鸣器解除警报操作.

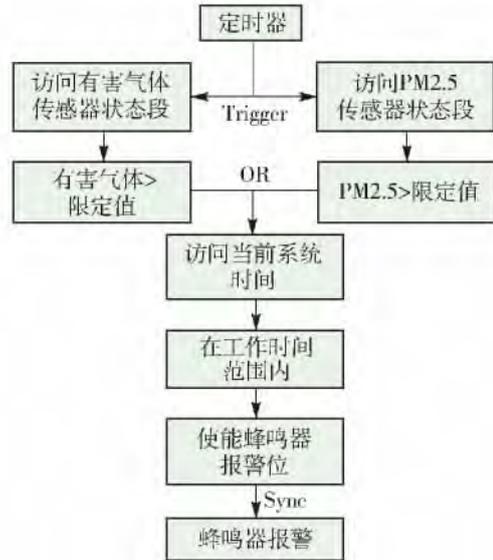


图 13 功能 3 实现过程

Fig. 13 Implementation process of the third function

3 结论

1) 在目前物联网领域对“物”的描述缺乏参考模型的背景下,本文提出基于本体的物联网设备资源描述模型,将设备划分为属性、状态、控制、历史信息 and 隐私 5 个方面的类资源进行综合描述.该模型能够屏蔽设备的异构性,实现设备之间的信息和数据共享功能.

2) 本文以智慧办公室为例,将提出的模型进行了应用实现.在具体实现过程中,提出了基于 JSON 格式的文件描述规范.以系统中湿度传感器为例,详细分析了其资源描述过程及内容.以在非工作时间通过摄像头监控人员进出办公室等功能为例,详细阐述了基于资源描述模型的业务实现过程.经过实验验证,该模型能够较好地支持各种物联网设备和应用场景,具备良好的应用价值和前景.

参考文献:

[1] WHITMORE A, AGARWAL A, DA XU L. The Internet of Things—a survey of topics and trends [J]. Information Systems Frontiers, 2015, 17(2): 261-274.
 [2] LI S, XU L D, ZHAO S. The Internet of Things: a survey

- [J]. *Information Systems Frontiers*, 2015, 17(2): 243-259.
- [3] WANG S, HOUY, GAO F, et al. Access features analysis of things in the Internet of Things [C] // 2016 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering. Beijing: IEEE, 2016: 143-147.
- [4] 孙其博, 刘杰, 黎彝, 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 Q B, LIU J, LI S, 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)
- [5] 刘佩云. 基于本体的物联网设备共享信息模型的研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.
- LIU P Y. Research and implementation of a shared information model of the IoT devices based on ontology [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2014. (in Chinese)
- [6] KUMAR A, SRIVASTAVA V, SINGH M K, et al. Current status of the IEEE 1451 standard-based sensor applications[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2015, 15(5): 2505-2513.
- [7] FADLULLAH Z M, FOU DA M M, KATO N, et al. Toward intelligent machine-to-machine communications in smart grid [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2011, 49(4): 60-65.
- [8] ZHANG H, MENG C. A multi-dimensional ontology-based IoT resource model [C] // Proceedings of the IEEE International Conference on Software Engineering and Service Sciences. Beijing: IEEE, 2014: 124-127.
- [9] NAMBI S N A U, SARKAR C, PRASAD R V, et al. A unified semantic knowledge base for IoT [C] // 2014 IEEE World Forum on Internet of Things. Seoul: IEEE, 2014: 575-580.
- [10] SANTOS A C, PEDROSA L D, KUIPERS M, et al. Resource description language: a unified description language for network embedded resources [J]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2012, 8(8): 860-864.
- [11] XU B, XU L D, CAI H, et al. Ubiquitous data accessing method in IoT-based information system for emergency medical services [J]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014, 10(2): 1578-1586.
- [12] DE S, BRANAGHI P, BAUER M, et al. Service modelling for the Internet of Things [C] // 2011 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). Szczecin: IEEE, 2011: 949-955.
- [13] 胡曼冬. 基于本体的智能家居关键技术研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
- HU M D. Research on key technology of smart home based on ontology [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014. (in Chinese)
- [14] PEREZ A G, BENJAMINS V R. Overview of knowledge sharing and reuse components: ontologies and problem-solving methods [C] // Proceeding of the IJCAI-99 Workshop on Ontologies and Problem-Solving Methods. Stockholm: KRRS, 1999: 1-15.
- [15] DOMASZEWICZ J, LALIS S, PRUSZKOWSKI A, et al. Soft actuation: smart home and office with human-in-the-loop [J]. *IEEE Pervasive Computing*, 2016, 15(1): 48-56.
- [16] OLIVIERI A C, RIZZO G, MORARD F. A publish-subscribe approach to IoT integration: the smart office use case [C] // IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops. Gwangju: IEEE, 2015: 644-651.
- [17] ALLETTO S, CUCCHIARA R, DEL F G, et al. An indoor location-aware system for an IoT-based smart museum [J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2016, 3(2): 244-253.

(责任编辑 梁洁)