



文章编号:1671-251X(2020)10-0055-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17585

一种智慧矿山信息交互方法

胡文涛^{1,2}, 卓敏敏^{1,2}, 赵立厂^{1,2}, 张晓光^{1,2}

(1. 中煤科工集团常州研究院有限公司, 江苏 常州 213015;

2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)



扫码移动阅读

摘要:针对目前煤矿普遍存在的“信息孤岛”问题,从实践角度出发,提出一种基于资源模型和受限应用协议(CoAP)的智慧矿山信息交互方法。分析了实现信息交互要解决的2个关键问题:数据建模和表示问题,即信息源如何展示自己能提供的信息和服务;交互协议问题,即信息消费者和生产者之间如何通信。针对数据建模和表示问题,定义了一种资源模型,通过资源模型定义文件可获取传感器提供的信息、对应的操作权限和数据类型等。针对交互协议问题,分析对比了声明式协议和命令式协议的特点,并选用更符合煤矿物联网开放性和易扩展性需求的CoAP作为信息交互协议。实验结果表明,该方法可在保持接口稳定的基础上,通过选项和资源提高灵活性,能够方便快速地实现创建、查询、修改、删除、通知等信息交互操作;只需对现有设备软件进行修改即可实现统一的信息交互,为实现智慧矿山打下基础。

关键词:智慧矿山;信息交互;资源模型;CoAP;数据建模和表示;交互协议

中图分类号:TD67

文献标志码:A

An information interaction method for smart mine

HU Wentao^{1,2}, ZHUO Minmin^{1,2}, ZHAO Lichang^{1,2}, ZHANG Xiaoguang^{1,2}

(1. CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;

2. Tiandi (Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: In view of "information island" problem which is common in coal mines, a smart mine information interaction method based on resource model and constrained application protocol (CoAP) was proposed from practical point of view. Two key issues to be solved in realizing information interaction are analyzed: data modeling and presentation issue, that is, how information sources display the information and services they can provide; interaction protocol issue, that is, how to communicate between information consumers and producers. For the data modeling and representation issue, a resource model is defined, and the information provided by sensors, corresponding operation authorities and data types can be obtained through resource model definition file. For the interactive protocol issue, the characteristics of declarative protocol and imperative protocol are analyzed and compared, and CoAP is selected as the information interaction protocol which is more in line with the openness and expansibility requirements of coal mine Internet of things. Experimental results show that the method can increase flexibility through options and resources on the basis of maintaining the stability of the interfaces, and can easily and quickly implement information interaction operations such as creation, query, modification, deletion and notification; unified information interaction can be easily achieved by modifying existing equipments software, which lays a

收稿日期:2020-04-25;修回日期:2020-09-22;责任编辑:胡娴。

基金项目:天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目(2019-TD-ZD007)。

作者简介:胡文涛(1984—),男,江苏丹阳人,工程师,硕士,主要从事煤矿监测监控和信息化相关研究工作,E-mail:huwentao1222@163.com。

引用格式:胡文涛,卓敏敏,赵立厂,等.一种智慧矿山信息交互方法[J].工矿自动化,2020,46(10):55-60.

HU Wentao, ZHUO Minmin, ZHAO Lichang, et al. An information interaction method for smart mine[J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(10): 55-60.

foundation for realization of smart mine.

Key words: smart mine; information interaction; resource model; CoAP; data modeling and representation; interactive protocol

0 引言

煤矿智能化先后经历了单机自动化、综合自动化、局部智慧化 3 个阶段,正在向智能化的最高形式——智慧矿山发展^[1]。智慧矿山将物联网、云计算、大数据、人工智能、自动控制、移动互联网、机器人化装备与现代矿山开发技术融合,实现了矿井开拓、采掘、运输、通风、选煤、安全保障、生态保护、生产管理等全过程智能化运行^[2]。智慧矿山的显著特点是多业务协同、自动分析和自主决策。

谭章禄等^[3]指出透彻感知和深度互联是智慧矿山的基础,对矿山数据的实时获取与监测,以及“人-人”“人-物”“物-物”无障碍互联互通,是实现信息共享、数据挖掘和人工智能的基本条件。随着传感技术和通信技术的发展,终端设备的感知能力显著提高,然而,深度互联却还停留在最低级别的物理互联上。由于设计前期缺乏统一规划和信息交互相关标准,各种矿山子系统的建设基本上采用的是自己建设、自己使用、自己维护的“三自模式”^[4],没有考虑系统开放性和信息共享问题。随着系统不断增多,系统之间无法互联互通,海量数据无法得到有效利用,形成了“信息孤岛”问题,严重阻碍了煤矿智能化发展。

针对“信息孤岛”问题,目前大多数解决方案都绕开了设备、通信技术及信息交互协议的异构性,直接在地面上位机系统进行信息交互和业务融合^[5-6]。典型的信息交互方式包括文件传输协议(File Transfer Protocol,FTP)、OPC 数据访问(OPC Data Access,OPC DA)规范、Web Service 技术、基于数据库的交互等^[7-8]。但通过上位机系统进行信息交互存在实时性差、数据缺失等问题。姚建铨等^[9]建议建设基于公共协议、标准的平台,袁亮等^[10]提出通过智能网关将异构协议转换为统一协议的方法,在井下实现信息交互和信息共享。在主干网采用统一协议和框架是实现信息交互的一种途径和趋势,但是目前煤矿行业还没有相关标准和具体方法^[11]。大量使用私有协议的历史遗留系统和设备的存在,使得信息交互标准的设计和制定充满了挑战,除需要考虑标准的功能性和适用性外,还需要综合考虑经济性、兼容性、可实施性等复杂问题。一些物联网领域的国际组织提出的 oneM2M^[12]和 OPC UA^[13]等标准提供了一种统一的信息交互方式,但相对比

较复杂。鉴此,本文从实践角度出发,提出一种基于资源模型和受限应用协议(Constrained Application Protocol,CoAP)的智慧矿山信息交互方法。

1 智慧矿山信息交互方法

要实现信息交互,至少要解决 2 个关键问题:① 数据建模和表示问题,即信息源如何展示自己能提供的信息和服务,需确定信息内容、组织方式、信息格式等。② 交互协议问题,即信息消费者和生产者之间如何通信,需确定通信步骤、通信接口、消息格式等。

1.1 数据建模和表示

OPC UA 的数据模型^[14]采用的是一种面向对象的数据建模方式,一般用可扩展标记语言(Extensive Markup Language,XML)格式的文件表示。该模型中所有信息都由节点构成,节点按类型可分为对象、属性、方法等,节点和节点之间的引用组成了一种层次性的数据模型。OPC UA 的数据模型相对比较复杂,在资源受限设备上实现有一定难度。

本文定义了一种简单的数据模型,即资源模型:将终端能够提供的每种信息看作一个资源,资源从逻辑上组织成对象;一个终端可包含多个对象,一个对象也可包含多种资源;对象和资源都分配有唯一的编码标志。终端、对象、资源之间的关系如图 1 所示。

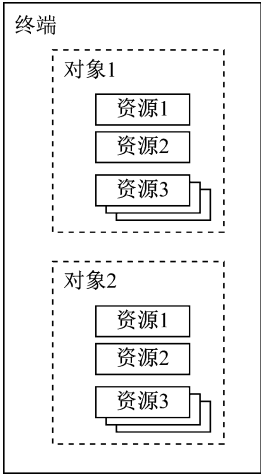


图 1 终端、对象、资源之间的关系
Fig. 1 The relationship between terminals, objects and resources

对象规定了一组资源,但只是一种定义,必须要实例化以后才能访问其中的资源和相关功能。对

象、对象实例和资源的标志符语法及分配方法见表 1。

表 1 标志符语法及分配方法

Table 1 Symbol syntax and allocation method		
标志符	语法	描述
对象 ID	16 bit 无符号整型	唯一标志对象,由编码标志管理部门分配
对象实例 ID	16 bit 无符号整型	唯一标志对象实例,由终端分配
资源 ID	16 bit 无符号整型	唯一标志对象中的资源,对象定义时分配,在对象内唯一

对象或资源都通过统一资源标志符(Uniform Resource Identifier, URI)访问。URI 格式如下:/{对象 ID}/{对象实例 ID}/{资源 ID}。例如,URI “/1000/0/100”表示 0 号甲烷传感器的实时值为 100,其中对象 ID“1000”表示甲烷传感器,对象实例 ID“0”表示 0 号实例,资源 ID“100”表示实时值为 100。

资源模型采用 XML 格式文件描述。每个对象定义包含名称、ID、描述、支持单实例或多实例等字段,对象下包含资源,每个资源定义包含名称、ID、描述、支持的操作、值类型、支持单实例或多实例、必须支持或选择支持等字段。一个简化的甲烷传感器对象定义文件如图 2 所示。

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Object>
  <Name>甲烷传感器</Name>
  <Description>一个简化的甲烷传感器数据模型定义</Description>
  <ObjectID>1000</ObjectID>
  <MultipleInstances>Multiple</MultipleInstances>
  <Resources>
    <Item ID="100">
      <Name>实时值</Name>
      <Operations>R</Operations>
      <MultipleInstances>Single</MultipleInstances>
      <Mandatory>Mandatory</Mandatory>
      <Type>Float</Type>
      <Description>最新读取的甲烷浓度</Description>
    </Item>
    <Item ID="101">
      <Name>单位</Name>
      <Operations>R</Operations>
      <MultipleInstances>Single</MultipleInstances>
      <Mandatory>Optional</Mandatory>
      <Type>String</Type>
      <Description>甲烷浓度单位</Description>
    </Item>
    <Item ID="102">
      <Name>报警值</Name>
      <Operations>RW</Operations>
      <MultipleInstances>Single</MultipleInstances>
      <Mandatory>Mandatory</Mandatory>
      <Type>Float</Type>
      <Description>甲烷浓度超限报警值,可以设置</Description>
    </Item>
    <Item ID="103">
      <Name>重置报警值</Name>
      <Operations>E</Operations>
      <MultipleInstances>Single</MultipleInstances>
      <Mandatory>Mandatory</Mandatory>
      <Type>Boolean</Type>
      <Description>恢复甲烷浓度超限报警值为出厂设置</Description>
    </Item>
  </Resources>
</Object>
```

图 2 甲烷传感器资源模型定义文件

Fig.2 Resource model definition file of methane sensor

通过资源模型定义文件,可获取甲烷传感器提供的信息、对应的操作权限和数据类型等,基于一定的通信链路和交互协议,通信双方即可进行数据交换。

1.2 交互协议

从设计角度看,交互协议主要分为声明式和命令式 2 种^[15]。声明式协议关心做什么(what),而不关心如何实现(how),一般接口数量少且固定;命令式协议则关心如何具体实现,一般需要根据不同功能设计不同接口。举例来说,要实现传感器超限报警,声明式协议只需采用通用的写操作将传感器报警对应的资源置位即可,而命令式协议则需要调用相应的特殊命令和参数,如报警或打开蜂鸣器。声明式协议具有较好的开放性和扩展性,典型的声明式协议有 HTTP, Modbus 等;命令式协议则更直接、效率更高,私有协议一般都是命令式协议,FTP 协议是典型的命令式协议。

命令式协议在增加新功能时,一般需要增加新的命令,从而需要修改协议及协议栈实现源代码,由于物联网中设备数量多,升级成本很高且很难实施。而声明式协议一般会保持协议的稳定性,通过增加资源的方式添加新功能,因此,更符合煤矿物联网开放性和易扩展性需求。通过比较 CoAP、消息队列遥测传输协议(Message Queuing Telemetry Transport, MQTT)和高级消息队列协议(Advanced Message Queuing Protocol, AMQP)等物联网协议,本文选用 CoAP 作为信息交互协议。

CoAP 是专为计算资源和带宽资源受限设备设计的一种表征性状态转移(Representational State Transfer, REST)架构的二进制应用层协议^[16-17],其操作接口统一,通过 URI 标志资源,支持多种负载编码方式,目前已在物联网中有很多应用。CoAP 消息格式如图 3 所示。

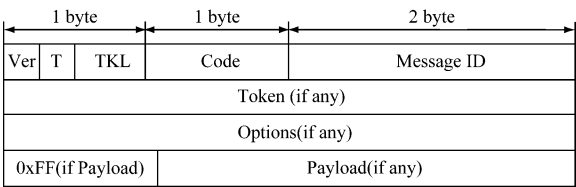


图 3 CoAP 消息格式

Fig.3 CoAP message format

CoAP 消息包含头部各字段、Token 值、选项、Payload 标志符(0xFF)和 Payload,其中 Token 值用于将某个请求和对应的响应关联。头部各字段定义如下:

- (1) 版本号(Ver): 2 bit 无符号整型,代表 CoAP 版本号。

(2) 类型(T):2 bit 无符号整型,包括 CON(0),NON(1),ACK(2),RST(3)。

(3) Token 长度(TKL):4 bit 无符号整型,表示变长的 Token 字段的长度(0~8 byte)。

(4) 代码(Code):8 bit 无符号整型,拆分为 3 bit 分类信息和 5 bit 详细信息,写作“c. dd”。分类信息包括请求(0)、成功响应(2)、客户端错误响应(4)和服务端错误响应(5)。当消息是一个请求时,Code 字段表示请求方法,请求方法包括 GET(1),POST(2),PUT(3),DELETE(4);当消息是一个响应时,Code 字段代表响应代码。

(5) 消息 ID(Message ID):16 bit 无符号整型,用于检测消息是否重复及匹配消息。

1.3 方法实现

服务器和客户端交互过程如图 4 所示。为了进行基于 IP 的交互,将甲烷传感器改造后作为服务器端,改造方法:在甲烷传感器的 UART 口外接一个 ESP8266 无线模块,并修改甲烷传感器的嵌入式软件,实现 CoAP 协议栈及资源模型。客户端使用一台计算机,安装 Firefox 浏览器及 Copper 插件,Copper 是一种 CoAP 客户端调试工具。传感器与计算机之间通过 WiFi 进行无线通信。

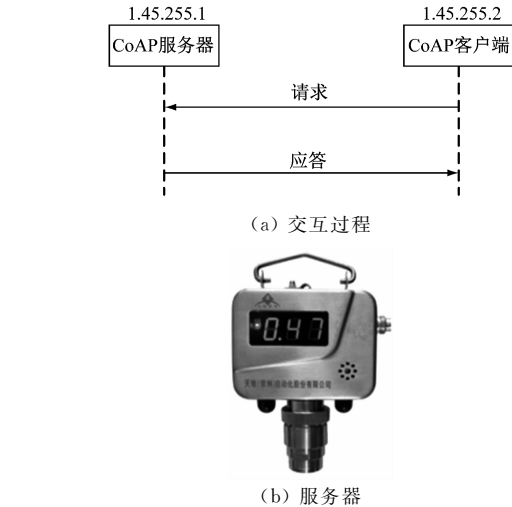


图 4 服务器和客户端交互过程

Figure 4 Interaction process between server and client

采用图 3 所示的文件定义传感器模型,其具有 4 个资源:实时值、单位、报警值和重置报警值,对应的 ID 分别为 100,101,102,103,通过软件模拟使实时值周期性变化。

传感器软件除实现基本的信号采集、数据处理、数据显示等功能外,还要实现 CoAP 引擎和资源模块。软件通过通信管理模块完成与 ESP8266 模块的通信,实现数据收发;传感器收到数据后进行 CoAP 协议解析,然后根据 URI 将消息分发给对应资源模块;目标资源收到请求消息后,根据具体请求

调用相应原生接口,产生请求结果;资源模块根据配置或请求选项,将请求结果格式化为文本、JSON (JavaScript Object Notation)或 TLV(Tag-Length-Value)等格式,然后发送给 CoAP 引擎;CoAP 引擎按照 CoAP 协议对请求结果进行封装、打包后,发送给通信管理模块,最后发送给客户端。传感器软件流程如图 5 所示。

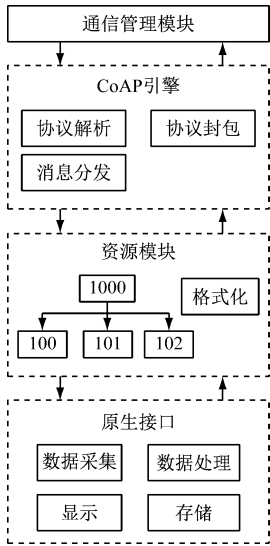


图 5 传感器软件流程

Fig. 5 Sensor software process

2 实验分析

2.1 实验过程

通过实验测试信息交互常用操作。实验包括传感器资源发现、读取传感器实时值、设置传感器报警值和重置传感器报警值 4 个过程。甲烷传感器对应的请求及应答过程如图 6 所示。

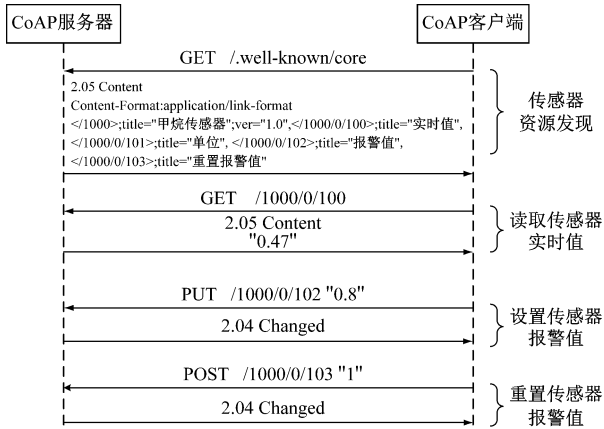


图 6 甲烷传感器请求及应答过程

Fig. 6 Request and response process of methane sensor

(1) 传感器资源发现。传感器资源发现有静态和动态 2 种方法。静态方法指预先获取图 2 所示的甲烷传感器资源模型文件。动态方法则是通过实时访问 “/.well-known/core” 路径实现资源获取,

CoAP 协议默认在客户端请求访问该路径时返回 application/link-format^[18] 格式的资源列表。实验过程中,通过点击 Copper 插件的“Discover”按键发送资源发现请求。

(2) 读取传感器实时值。读取资源值是信息交互最常用的功能,通过 GET 方法加对应目标资源的 URI 选项即可请求获取对应资源的值,实验中甲烷传感器实时值的 URI 是“/1000/0/100”。如果没有指定,则默认负载采用文本格式。

(3) 设置传感器报警值。参数设置也是信息交互和设备管理常用的功能,通过 PUT 方法加目标资源 URI 选项及参数值即可请求修改对应资源的值。甲烷传感器报警值的 URI 是“/1000/0/102”,访问权限为“可读可写”,修改成功返回代码为 2.04。

(4) 重置传感器报警值。本文所提的信息交互方法支持通过资源执行某些操作。甲烷传感器重置报警值的 URI 是“/1000/0/103”,该资源为可执行资源,通过 POST 方法加目标资源 URI 及参数即可请求执行相应操作。传感器接收到请求后,从带电可擦可编程只读存储器(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory,EEPROM)中读取出厂设置值并用其覆盖传感器报警值,实现报警值重置,并返回成功代码 2.04。

2.2 实验结果

为了测试信息交互性能,连续 100 次读取传感器值,计算每次的往返时延,结果如图 7 所示。可见,在实验环境下,往返时延为 100 ms 左右。

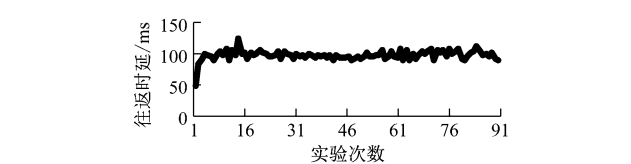


图 7 往返时延测试结果
Fig. 7 Round-trip delay test result

实验结果表明,基于资源模型和 CoAP 的信息交互方法可在保持接口稳定(只有 GET,PUT,POST,DELETE)的基础上,通过选项和资源提高灵活性,能够方便快速地完成创建、查询、修改、删除、通知等信息交互操作。

3 结论

(1) 针对影响煤矿信息化与智慧矿山发展的“信息孤岛”问题,提出了一种基于资源模型和统一应用协议 CoAP 的信息交互方法,提供了一种一致性的信息组织和交互机制。该方法接口统一,扩展

性和灵活性好,可直接在井下实现信息交互,且非常容易实现,只需要对现有设备软件进行修改即可实现统一的信息交互,从而实现了矿山物联网的互联互通互操作,为实现智慧矿山打下基础。

(2) 虽然规定了统一的数据建模和表示方法,但是针对同一设备,不同厂家定义模型可能还是不同,同样的资源可能会采用不同名称或编号。这就需要定义相关的元数据和数据集标准,或使用语义网技术定义相关本体^[19],使相关方对同一资源采用相同名称,实现一致无歧义的理解。在此基础上,可进一步定义一些通用设备资源模型作为标准,相关厂家不需要自己再定义模型,而只要实现相关模型并声明自己支持哪些模型,信息交互就能更加统一和简单。

(3) 着重介绍了基于 IP 网络的信息交互方法,而煤矿现场有 CAN、RS485、无线传感器网络等多种非 IP 网络,如何在非 IP 网络中实现统一协议需要进一步研究,尤其是异构网络的寻址和路由问题、大数据包在负载大小受限的网络中的拆分和重组问题等。

参考文献(References):

[1] 吕鹏飞,何敏,陈晓晶,等.智慧矿山发展与展望[J].工矿自动化,2018,44(9):84-88.
LYU Pengfei, HE Min, CHEN Xiaojing, et al. Development and prospect of wisdom mine [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(9): 84-88.

[2] 王国法,王虹,任怀伟,等.智慧煤矿 2025 情景目标和发展路径[J].煤炭学报,2018,43(2):295-305.
WANG Guofa, WANG Hong, REN Huaiwei, et al. 2025 scenarios and development path of intelligent coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(2): 295-305.

[3] 谭章禄,吴琦.智慧矿山理论与关键技术探析[J].中国煤炭,2019,45(10):30-40.
TAN Zhanglu, WU Qi. Analysis and discussion of smart mine theory and key technologies [J]. China Coal, 2019, 45(10): 30-40.

[4] 张申,胡青松,王刚.矿山物联网标准建设的思考[J].工矿自动化,2018,44(1):1-5.
ZHANG Shen, HU Qingsong, WANG Gang. Consideration about construction of standards for mine Internet of things [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(1): 1-5.

[5] 贺耀宜,王海波.基于物联网的可融合性煤矿监控系统研究[J].工矿自动化,2019,45(8):13-18.

HE Yaoyi, WANG Haibo. Research on coal mine fusion monitoring system based on Internet of things [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45 (8): 13-18.

[6] 张翼. 煤矿安全监控多系统融合与联动交互方案[J]. 煤矿安全, 2019, 50(6): 100-103.

ZHANG Yi. Multi-system fusion and linkage interaction solution of coal mine safety monitoring system [J]. Safety in Coal Mines, 2019, 50 (6): 100-103.

[7] 郑武平. OPC 技术在煤矿综合自动化系统中的研究与应用[D]. 西安: 西安科技大学, 2018.

ZHENG Wuping. The research and application of OPC technology in coal mine integrated automation system[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2018.

[8] 邓春饶. 煤矿综合自动化数据采集解决方案[J]. 中国新通信, 2018, 20(7): 229.

DENG Chunrao. The solution of data collection of colliery comprehensive automation [J]. China New Telecommunications, 2018, 20(7): 229.

[9] 姚建铨, 丁恩杰, 张申, 等. 感知矿山物联网愿景与发展趋势[J]. 工矿自动化, 2016, 42(9): 1-5.

YAO Jianquan, DING Enjie, ZHANG Shen, et al. Prospect of perception mine Internet of things and its development trend [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(9): 1-5.

[10] 袁亮, 俞啸, 丁恩杰, 等. 矿山物联网人-机-环状态感知关键技术研究[J]. 通信学报, 2020, 41(2): 1-12.

YUAN Liang, YU Xiao, DING Enjie, et al. Research on key technologies of human-machine-environment states perception in mine Internet of things [J]. Journal on Communications, 2020, 41(2): 1-12.

[11] 丁恩杰, 赵志凯. 煤矿物联网研究现状及发展趋势[J]. 工矿自动化, 2015, 41(4): 1-5.

DING Enjie, ZHAO Zhikai. Research advances and prospects of mine Internet of things[J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(4): 1-5.

[12] 高祥. oneM2M 平台的异构物联网融合研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2018.

GAO Xiang. Research on heterogeneous network convergence of oneM2M platform[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018.

[13] MAHNKE W, LEITNER S H, DAMM M. OPC 统一架构[M]. 马国华, 译. 北京: 机械工业出版社, 2011.

MAHNKE W, LEITNER S H, DAMM M. OPC unified architecture [M]. MA Guohua, translate. Beijing: China Machine Press, 2011.

[14] 江城. OPC UA 信息模型及其应用[D]. 太原: 太原科技大学, 2014.

JIANG Cheng. OPC UA information model and its application [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science & Technology, 2014.

[15] 张也. 基于声明式交互的数据可视化系统的设计与实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.

ZHANG Ye. Design and implement of data visualization system based on declarative interaction [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.

[16] RFC 7252: The constrained application protocol (CoAP)[S].

[17] 徐凯. IoT 开发实战: CoAP 卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.

XU Kai. CoAP in action[M]. Beijing: China Machine Press, 2017.

[18] RFC 6690: Constrained RESTful environments (CoRE) link format[S].

[19] 冯仕民, 丁恩杰, 刘忠育, 等. 矿山人员状态信息描述方法研究[J]. 物联网学报, 2019, 3(4): 9-16.

FENG Shimin, DING Enjie, LIU Zhongyu, et al. Research on methods of workers' context description in mines[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2019, 3(4): 9-16.