



文章编号:1671-251X(2018)06-0001-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17335

# 矿山物联网生产设备协同管控系统设计

李学恩<sup>1</sup>, 游博<sup>1</sup>, 陈卿<sup>2,3</sup>, 王红星<sup>1</sup>

(1.中国科学院自动化研究所,北京 100190;2.中国矿业大学信息与控制工程学院,江苏徐州 221116;  
3.矿山互联网应用技术国家地方联合工程实验室,江苏徐州 221008)

**摘要:**针对矿山物联网生产设备协同管控规模大、时序约束严格、局部控制等特点,结合矿山物联网生产设备协同管控系统架构,建立了矿山物联网生产设备多级协同管控模型,提出了基于数据驱动与知识驱动的矿山物联网生产设备协同管控方法,描述了各层级子系统及其设备之间的任务分配与协同机制,并由此构建了基于平行管理的矿山物联网生产设备协同管控系统。该系统可实现矿山物联网数据的分布式协同处理与设备协同管控,减少人为干预,提高生产效率。

**关键词:**矿山物联网;精准开采;设备协同管控;多级协同管控;任务协同机制;时序约束;平行管理  
中图分类号:TD67 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180524.1956.001.html>

## Design of cooperative management and control system for production equipments in mine Internet of things

LI Xue'en<sup>1</sup>, YOU Bo<sup>1</sup>, CHEN Qing<sup>2,3</sup>, WANG Hongxing<sup>1</sup>

(1.Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2.School of  
Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology,  
Xuzhou 221116, China; 3.The National and Local Joint Engineering Laboratory  
of Mine Internet Application Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** For characteristics of large-scale, strict timing constraint and decentralized control of cooperative management and control for production equipments in mine Internet of things(IoT), a multi-level cooperative management and control model for production equipments in mine IoT was established combing with architecture of a cooperative management and control system. A cooperative management and control method for production equipments in mine IoT was proposed which was based on data-driven and knowledge-driven, and task allocation and collaboration mechanism among subsystems and their equipments at all levels was described. Thus a cooperative management and control system for production equipments in mine IoT based on parallel management was established. The system can realize distributed collaborative data processing and cooperative management and control of production equipments of mine

收稿日期:2018-05-02;修回日期:2018-05-22;责任编辑:李明。

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804407);江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXLX13\_941)。

作者简介:李学恩(1969—),男,河南民权人,研究员,博士,主要研究方向为物联网与智能感知,E-mail:xueen.li@ia.ac.cn。通信作者:陈卿(1984—),男,江苏徐州人,博士研究生,主要研究方向为矿震波速反演,E-mail:chenqxzit@gmail.com。

引用格式:李学恩,游博,陈卿,等.矿山物联网生产设备协同管控系统设计[J].工矿自动化,2018,44(6):1-5.

LI Xue'en, YOU Bo, CHEN Qing, et al. Design of cooperative management and control system for production equipments in mine Internet of things[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(6): 1-5.

IoT, which can reduce human intervention and improve production efficiency.

**Key words:** mine Internet of things; precise mining; cooperative management and control of equipment; multi-level cooperative management and control; collaboration mechanism of task; timing constraint; parallel management

## 0 引言

完整的现代化生产矿区通常由上万套独立设备共同完成常规生产作业,特别是在矿山物联网环境下,各生产区域和功能子系统的设备多种多样,物理空间分布广泛,生产工况环境复杂多变,底层数据也来自多源异构网络<sup>[1-2]</sup>。为解决物联网环境下矿山生产设备的协同管控问题,本文在分析矿山物联网生产设备协同管控特点及功能需求的基础上,建立了矿山物联网生产设备多级协同管控模型,提出了基于数据驱动与知识驱动的矿山物联网生产设备协同管控方法,由此构建了矿山物联网生产设备协同管控系统。该系统通过对矿山物联网数据的分布式协同处理与设备的协同管控,可实现矿山精准开采,减少人工干预,提高生产效率。这也是未来矿山管理系统的发展趋势。

## 1 矿山物联网生产设备协同管控需求

矿山物联网生产设备协同管控具有以下特点:

(1) 需获取广域且深度的互连互通、实时、海量大数据信息。

(2) 具有不可分与不可知的复杂系统特征。

(3) 协同规模大。一次协同任务需要部署在很大范围内的大量设备共同完成,且在大规模设备协同中存在大量并行协同任务和设备资源访问任务。

(4) 时序约束严格。针对大规模设备协同中存在的并行协同任务,除了要保证这些任务之间能够有效地共享各类资源,防止冲突和死锁,更重要的是要保证这些任务之间及任务与子任务之间具有严格的时序约束关系。

(5) 局部控制。在复杂系统中,每个主体只能从其所在相对较小的个体集合中获取局部信息并做出相应决策。系统的整体行为通过个体间的竞争或协作等局部相互作用表现出来。

因此,矿山物联网生产设备协同管控系统应具有以下主要功能:

(1) 根据矿山生产设备运行和工况环境、生产业务及管理方法等因素之间的工作流和协同关系,实现“人、机、环”设备协同管控。将设备因素、环境因素、生产环节与管理方法有机结合,实现区域设备联动与智能干预,提高整体管理水平与节能减排。

(2) 通过大数据挖掘与知识描述,实现矿山安全生产过程中的隐性数据和隐性知识显性化。通过采集生产传输过程中的传感数据,形成云端数据索引。结合现有矿山生产知识图谱,将综合数据形成理论数据模型。

(3) 将设备功能服务管理与生产业务流程管理相结合,实现基于数据驱动与知识驱动的设备协同管控。

## 2 矿山物联网生产设备协同管控系统架构

矿山物联网生产设备协同管控系统架构包括物联网及其设备层、集成层、数据层、业务逻辑层、表现层<sup>[3-5]</sup>,如图1所示。

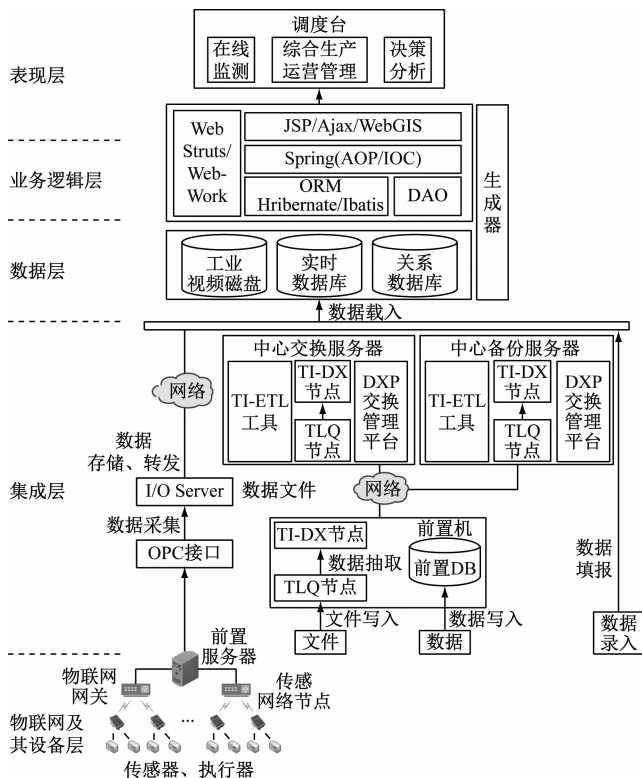


图1 矿山物联网生产设备协同管控系统架构

Fig. 1 Architecture of cooperative management and control system for production equipment in Internet of things

物联网及其设备层主要由传感器、执行器、传感网络节点、物联网网关、前置服务器等组成。传感器主要采集生产过程中的传输数据。执行器用于远程或自动化控制。传感网络节点作为传输中继,完成物联网组网功能,并对传感器、执行器等设备进行管理。传感网络节点同时具备协议转换功能,可根据

需要将传感器等设备的通信协议转换为物联网通信协议格式。物联网网关作为物联网网络的核心单元,主要负责建立物联网网络,实现物联网与以太网的无缝对接。前置服务器用于物联网管理和物联网设备数据收集。

集成层主要获取和集成各种数据,包括生产调度等基础业务数据、设备运行监控等实时数据。在基层单位服务器中放置前置机,通过 Web Service 接口获取生产调度等基础业务数据,将数据通过数据交换平台(包括中心交换服务器、数据存储转发服务器 I/O Server)存入数据层各类数据库。其中前置机包括 TLQ 消息中间件节点、TI-DX 交换节点、前置 DB 3 个部分,中心交换服务器包括 TI-ETL 工具、TI-DX 交换节点、TLQ 消息中间件节点、DXP 交换管理平台 4 个部分。在基层单位服务器中安装 I/O Server,利用 OPC 接口获取设备运行监控等实时数据并发送至数据层。

数据层通过分类存储管理,建立数据共享机制,减少企业信息孤岛,为系统提供深层次数据挖掘及决策支持。数据层主要使用实时数据库、流媒体软件及 Oracle-11g 进行数据、视频管理。

业务逻辑层主要采用 Spring 框架实现具体的业务逻辑,为业务逻辑提供事务控制及数据校验支持,并通过封装事务实现与数据层的交互,利用容器来实例化、配置和管理业务逻辑,为表现层提供统一接口。

表现层利用 Ajax, JSP, WebGIS 技术,结合 Web Struts/Web-Work 框架完成 HTTP 请求处理、页面实现、数据校验等功能,主要包括分发器、控制器、数据绑定、数据校验、网页视图等。

3 矿山物联网生产设备多级协同管控模型

矿山安全生产业务管理一般按照功能区域进行划分,每个区域生产管理包括若干功能子系统,均由若干传感器、执行器、控制器、处理器等组成<sup>[6-7]</sup>。本文将底层复杂的多源异构数据以网络服务形式统一封装成上层抽象资源;将设备管理与生产管理相结合,将每一个设备管理层次视作一个设备智能协同管控模块,将物联网环境中矿山生产设备的各种时间和空间功能服务与信息服务,按照业务应用需求进行流程组合与任务编排<sup>[8-10]</sup>,从而建立矿山物联网生产设备多级协同管控模型,如图 2 所示。

根据矿山物联网生产设备多级协同管控任务及管控对象不同,将矿山物联网生产设备协同管控系统分为设备层、动态层、运动层、设备智能管理层、区

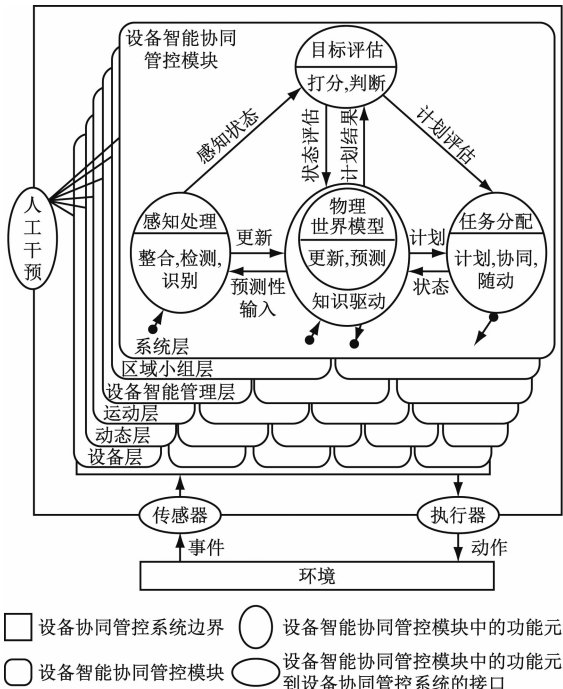


图 2 矿山物联网生产设备多级协同管控模型

Fig. 2 Multi-level cooperative management and control model for production equipment in Internet of things

域小组层和系统层<sup>[11]</sup>。每层之间既有相对独立的功能,又存在相互作用的规律。每一层的目标评估模块会根据设定目标(如安全度、高效率、低能耗等),结合实际系统(物理世界模型)状态和实时数据变化,对设备协同任务调度进行优化,得到任务分配方案发送给本层级的系统、设备或下一层级的设备智能协同管控模块。本层级的实际系统接收到分配的协同任务后,会在知识驱动下执行协同管控任务,并根据本层级和下一层级上传的实时感知数据进行模型修正和参数更新,同时对感知数据进行分析,实现对设备或事件异常的判别或预测,并发送任务执行结果和工作状态。在没有人工干预的情况下,协同管控任务不会在本任务没有执行完且没有新的任务到来时终止。

每一层级设备智能协同管控模块接口如图 3 所示,其主要包括从本层级或下一层级上传的感知数

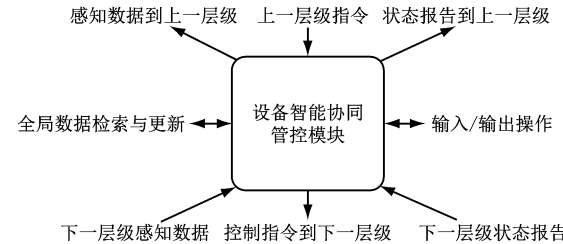


图 3 设备智能协同管控模块接口

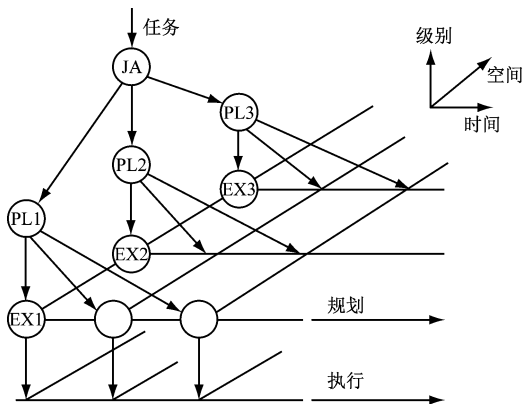
Fig. 3 Interface of intelligent equipment cooperative management and control unit

据、从下一层级上传的状态报告、下传的指令、上传的感知数据、上传的状态报告、接收的上一层级指令、全局数据检索与更新、输入/输出操作(人工干预)等。

#### 4 矿山物联网生产设备协同管控方法

将每一层级的设备协同管控任务分为协同任务和设备任务。协同任务由上一层级下发的指令或人工干预操作提交目标评估模块和任务分配模块执行产生;设备任务即本层级设备的访问和控制,在协同任务执行过程中由本层级实际系统在知识和数据驱动下触发产生。

矿山物联网生产设备协同管控系统的任务分配模块如图4所示。该模块主要根据目标评估模块基于协同管控目标(如安全、节能、高效等)的评估、优化结果进行协同管控任务的规划和分配。协同任务将按照规划目标在时间和空间分解成下一层级协同管控任务指令和本层级协同子任务和设备子任务,并分别发送到下一层级及本层级不同的子系统及其设备中执行。任意2个关联层级之间的任务分配是上层级发送给下层级“需要做什么”的协同任务和下层级产生“怎么执行”的协同子任务和设备子任务。



JA—任务分配管理器;PL—规划器;EX—执行器

图4 任务分配模块

Fig. 4 Task allocation module

在目标评估的基础上,通过协同管控在时间和空间维度上的任务规划和分配,实际系统按照基于知识和数据驱动的设备协同管控方法,自动按时序同步或顺序触发执行相应的协同任务或设备任务。对于多协同任务,在任务规划和分配时应尽可能避免时序和资源冲突,并采用优先级和信号量控制机制来保证时序同步,避免冲突;对于多设备任务,由于设备资源具有独占性,采用资源预约机制来防止设备任务之间的访问冲突问题<sup>[12]</sup>,从而满足矿山物联网生产设备协同管控规模大、时序约束严格的

要求。

#### 5 矿山物联网生产设备协同管控系统工程设计

矿山物联网生产设备之间存在某种内在的冲突、联系和规律,为有效发现和解决这些问题,在进行矿山物联网生产设备协同管控系统工程设计时,设计为实际系统与人工系统并行互动的平行管理系统<sup>[13]</sup>,对实际系统和人工系统之间逐步进行学习训练、计算实验、评估、管理与控制,使实际系统趋向人工系统,进而借助人工系统使复杂问题简单化。基于平行管理的矿山物联网生产设备协同管控系统如图5所示。该系统通过大数据分析和平行协同的智能学习训练,可建立相应的数据库和知识库;采用基于数据驱动与知识驱动的设备协同管控方法和智能协同算法,可有效解决系统中各设备的任务分配问题,实现设备协同优化和学习。

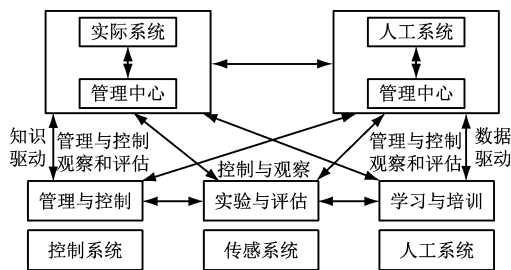


图5 基于平行管理的矿山物联网生产设备协同管控系统

Fig. 5 Cooperative management and control system for production equipment in Internet of things based on parallel management

矿山物联网生产设备协同管控系统在工程实现上主要由设备协同流程设计系统、设备协同执行系统、设备协同评估系统、通信服务器及物联网设备或设备模拟器组成<sup>[14-15]</sup>,如图6所示。设备模拟器用于在平行系统中模拟实际系统中的设备功能;通信服务器实现设备协同执行系统与设备的通信;设备协同流程设计系统提供图形化的协同流程设计界面,支持用户进行直观、快捷的设备协同流程设计;

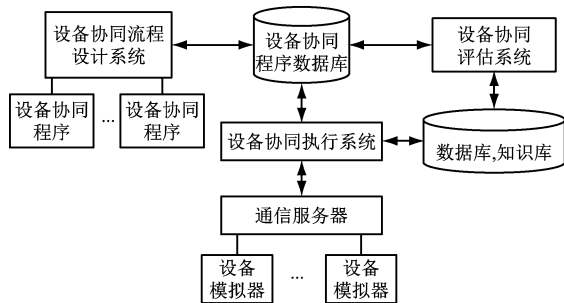


图6 矿山物联网生产设备协同管控系统工程设计

Fig. 6 Engineering design of cooperative management and control system for production equipment in Internet of things

用户设计的设备协同程序保存于设备协同程序数据库中;设备协同执行系统模拟执行设备协同流程,并根据执行情况将执行结果存入历史数据库,将系统学习训练的结果存入知识库;设备协同评估系统利用知识库和数据库对设备协同管控效果进行分析评估。

## 6 结语

从系统角度出发,建立了矿山物联网生产设备多级协同管控模型,提出了基于数据驱动与知识驱动的设备协同管控方法,并构建了矿山物联网生产设备协同管控系统。该系统将设备管理与生产管理相结合,按照业务应用需求组合物联网环境中矿山生产设备的空间功能服务和空间信息服务,通过业务流程化建模,可实现矿山物联网分布式多设备协同工作,为矿山安全、高效、精准开采提供技术支撑。

## 参考文献(References):

- [1] 徐静,谭章禄. 智慧矿山系统工程与关键技术探讨[J]. 煤炭科学技术,2014,42(4):79-82.  
XU Jing, TAN Zhanglu. Smart mine system engineering and discussion of its key technology[J]. Coal Science and Technology,2014,42(4):79-82.
- [2] 付贵祥,李学恩,张长江. 矿山物联网技术及其在智慧矿山建设中的应用[C]//汤家轩. 2013 煤炭技术与装备发展论坛优秀论文集. 徐州:中国矿业大学出版社,2013:657-662.
- [3] 孙继平. 安全高效矿井监控关键技术研究[J]. 工矿自动化,2012,38(12):1-5.  
SUN Jiping. Research of key technologies for mine safety and efficiency monitoring[J]. Industry and Mine Automation,2012,38(12):1-5.
- [4] 张建锋,陈国恩,罗明华,等. 基于联动机制的煤矿胶带运输监控系统设计[J]. 自动化与仪器仪表,2013(2):83-85.
- [5] 邵国良,张西新. 基于 PLC 的主运输皮带智能控制系统的研究与应用[J]. 中国矿业,2012,21(增刊 1):641-644.  
SHAO Guoliang, ZHANG Xixin. Research and application on intelligent control system of main transportation belt based on PLC[J]. China Mining Magazine,2012,21(S1):641-644.
- [6] 胡奇芸,于岩,于卉. 基于 PLC 的带式输送机电控系统的设计及应用[J]. 煤矿机械,2009,30(3):114-116.  
HU Qiyun, YU Yan, YU Hui. Electric control system design and application of belt conveyor based on PLC

- [J]. Coal Mine Machinery,2009,30(3):114-116.
- [7] 李敬兆,江洋. 矿山分布式分级自治系统设计[J]. 工矿自动化,2018,44(5):20-25.  
LI Jingzhao, JIANG Yang. Design of mine distributed hierarchical autonomous system[J]. Industry and Mine Automation,2018,44(5):20-25.
- [8] 廖军,谭浩,刘锦德. 基于 Pi-演算的 Web 服务组合的描述和验证[J]. 计算机学报,2005,28(4):635-643.  
LIAO Jun, TAN Hao, LIU Jinde. Describing and verifying Web service using Pi-calculus[J]. Chinese Journal of Computers,2005,28(4):635-643.
- [9] 张静,王海洋,崔立真. 基于 Pi 演算的跨组织工作流建模研究[J]. 计算机研究与发展,2007,44(7):1243-1251.  
ZHANG Jing, WANG Haiyang, CUI Lizhen. Research on cross-organizational workflow modeling based on Pi-calculus[J]. Journal of Computer Research and Development,2007,44(7):1243-1251.
- [10] 李必信,周颖. 信息物理融合系统导论[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [11] HUANG H M, QUINTERO R, ALBUS J S. A reference model, design approach, and development illustration toward hierarchical real time system control for coal mining operations[J]. Control & Dynamic Systems,1991:173-254.
- [12] 荣晓慧,陈峰,邓攀,等. 大规模设备协同机制研究[J]. 计算机研究与发展,2011,48(9):1589-1596.  
RONG Xiaohui, CHEN Feng, DENG Pan, et al. A large-scale device collaboration mechanism[J]. Journal of Computer Research and Development,2011,48(9):1589-1596.
- [13] 王飞跃,刘德荣,熊刚,等. 复杂系统的平行控制理论及应用[J]. 复杂系统与复杂性科学,2012,9(3):1-12.  
WANG Feiyue, LIU Derong, XIONG Gang, et al. Parallel control theory of complex systems and applications[J]. Complex Systems and Complexity Science,2012,9(3):1-12.
- [14] 秦永康,黄和平. PLC 集中控制系统在煤矿胶带输送机上的应用[J]. 工矿自动化,2011,37(2):98-100.  
QIN Yongkang, HUANG Heping. Application of PLC centralized control system of coal mine belt conveyor[J]. Industry and Mine Automation,2011,37(2):98-100.
- [15] 徐敏,黄强. 矿山安全生产联动设计[C]//第 18 届全国煤矿自动化与信息化学术会议论文集,杭州,2008:462-468.