



文章编号:1671-251X(2015)05-0001-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.05.001

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.

煤矿物联网研究现状及发展趋势

丁恩杰^{1,2}, 赵志凯^{1,2}

(1. 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008;

2. 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:阐述了国内外煤矿物联网的一些概念及发展历史,分别从系统架构、感知层、传输层、应用层及工程应用方面总结了国内外煤矿物联网研究现状;指出目前煤矿物联网研究存在的主要问题为缺乏低功耗智能传感器及装置、矿井环境能量捕获技术、数据与网络安全方法、公共服务平台以及煤矿物联网相关标准;从嵌入式智能信息传感技术、基于大数据的矿山安全生产云服务平台、安全性方面探讨了煤矿物联网可能的发展方向。

关键词:煤矿物联网;感知矿山;智能传感器;能量捕获;云平台;物联网安全

中图分类号:TD67

文献标志码:A

网络出版时间:2015-04-30 08:27

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150430.0827.001.html>

Research advances and prospects of mine Internet of Things

DING Enjie^{1,2}, ZHAO Zhikai^{1,2}

(1. Internet of Things(Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology,

Xuzhou 221008, China; 2. National and Local Joint Engineering Laboratory of Internet

Application Technology on Mine, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Concepts and development history of domestic and foreign mine Internet of Things (IoT) were introduced, then research states of mine IoT were summarized from aspects of system architecture, perception layer, transport layer, application layer and engineering application. Main problems existing in current research of mine IoT were pointed out, namely lacking intelligent sensor or device with low energy consumption, environmental energy capturing technology of mine, data and network security method, public service platform and standards about mine IoT. Some possible development directions of mine IoT were probed on from aspects of embedded intelligent information sensing technology, cloud service platform of mine safety production based on big data and security.

Key words: mine Internet of Things; perception mine; intelligent sensor; energy capture; cloud platform; IoT security

收稿日期:2014-12-19;修回日期:2015-01-30;责任编辑:李明。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAH12B00);江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20140216);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014QNB45);江苏省博士后科研资助计划项目(1402059C);中国矿业大学第六批“启航计划”项目([2013]9)。

作者简介:丁恩杰(1962—),男,山东青岛人,教授,博士,博士研究生导师,研究方向为监测监控与现场总线、信号处理、物联网,E-mail:enjed@cumt.edu.cn。

0 引言

物联网从1995年提出理念至今已经发展了近20年。2009年至今是物联网技术高速发展的年代,特别是2014年,世界物联网从研究与发明阶段转为市场推广应用阶段。据IDC(Internet Data Center, 互联网数据中心)预测,到2020年世界上与网络相连的智能装置的数量将达到260亿(不包括PCs、平板电脑和智能电话),物联网产品与服务的市场增加值可达19 000亿^[1]。从20世纪90年代至今,煤矿自动化先后经历了单机自动化、综合自动化和煤矿物联网3个阶段的发展。虽然物联网技术在煤矿行业的研究与应用已经取得了一定成果,但是国内外关于煤矿物联网没有一个统一的定义,很多概念与煤矿物联网相混淆。在国内,使用较多的概念有数字矿山、感知矿山、智能矿山、智慧矿山、煤矿物联网等。在国外,多以煤矿无线传感网络为主。在中国,吴立新等^[2-4]较早提出了数字矿山的概念。实际上该概念与信息化矿山、矿山综合自动化等概念趋于一致。张申等^[5-8]比较全面地给出了感知矿山的定义,指出感知矿山是在综合了上述概念基础上,更加具体、全面、动态、详尽地描述真实矿山。从对矿山的描述层次上来说,煤矿物联网是融合了真实物理矿山、数字矿山和虚拟信息矿山三者为一体的综合体,如图1所示。

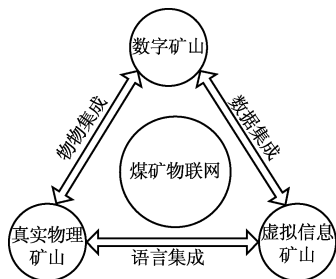


图1 煤矿物联网

1 煤矿物联网研究现状

近些年,国内外相关科研人员针对物联网技术在煤矿领域的应用做了很多研究,并取得了一定成果。下面分别从体系架构、感知层、传输层、应用层及工程应用方面,对煤矿物联网的国内外研究现状进行总结。

1.1 国内煤矿物联网研究现状

在体系架构研究方面,吴立新等^[4]指出应利用物联网技术建设数字矿山集成平台、矿山自动化系统、井下精确定位与导航系统以及采矿环境的智能感知系统。张申等^[6]提出感知矿山建设的核心问题为“3个感知”:感知矿山灾害风险,实现各种灾害事

故的预警预报;感知矿工周围安全环境,实现主动式安全保障;感知矿山设备工作健康状况,实现预知维修。张申等^[9]在分析煤矿综合自动化的基础上,提出采用物联网技术及其平台性来实现矿山物理世界的实时控制、精确管理和科学决策,指出矿山物联网是一种开放式平台,且该平台体现在结构性平台和服务性平台2个方面。解海东等^[10]在分析智能矿山建设现状的基础上,提出了一种基于物联网的5层智能矿山体系架构方案,并提出了基于该架构的智能矿山应用体系,指出该体系可用于指导煤矿企业建设矿山物联网系统。张科利等^[11]提出了智能生产系统概念,在物联网技术的基础上,提出了一个弹性的智能生产系统。张长江等^[12]指出将物联网技术应用到矿山,可以实现矿井的全面感知、智能控制和综合管理,并能较好地消除矿山企业存在的“信息孤岛”现象。孙彦景等^[13]提出构建动态感知煤矿灾害状况、设备健康状态、人员安全环境的煤矿安全生产物联网协同网络系统。

在感知层研究方面,丁恩杰等^[14]研制了具有矿工定位、周围环境信息感知及双向通信功能的智能信息终端。王继水等^[15]针对矿山实际需求,应用物联网技术,通过建立基于ZigBee技术的无线传感器网络,实现矿山环境的在线实时监测。李继云^[16]、张春辉^[17]分别就矿山物联网节点和数据采集终端进行了研究和设计,对矿山物联网硬件设备的开发和设计有一定的参考和指导作用。

在传输层研究方面,邵国强^[18]针对常用的矿井WiFi通信系统、人员定位系统均采用独立布网方式而存在重复布网的问题,提出了一种将WiFi和RFID(Radio Frequency Identification, 射频识别)相结合的一体化矿用无线通信及人员定位管理系统设计方案。孙彦景等^[19]设计了基于物联网的安全信息系统模型,并研发了适用于煤矿环境的综合接入网卡及环网防爆交换机。太平^[20]研究了矿山物联网的服务质量框架,用来解决矿山物联网业务服务质量保障问题。

在应用层研究方面,赵安新等^[21]设计了一套基于物联网技术的矿山机电设备远程在线实时监测和故障诊断平台,使其在保障企业安全生产中发挥重要作用。陈铎等^[22]提出了一种基于矿山物联网的设备动态管理系统设计方案。赵志军等^[23]指出了物联网规模化运用中的关键技术,并给出了利用智能信息处理理论的煤矿物联网架构设计方案。

在工程应用方面,夹河煤矿、霍尔辛赫煤矿应用物联网技术构建井下通风、排水、应急救援三大系统,实现煤矿生产的掘进、采煤、运输、供电的无人化

或少人化作业,从而形成新型煤矿安全技术体系^[24-25]。神华宁煤集团将物联网技术应用于数字化矿山建设中,并对物联网技术的应用成效进行了论述,同时提出了神华宁煤集团物联网技术应用研究的新方向^[26]。

1.2 国外煤矿物联网研究现状

国外对物联网的应用研究起步较早,其取得的成果较为丰富,一些技术也成功地应用到了煤矿行业。在20世纪末,加拿大国际镍公司的研究员针对煤矿地下采矿设备的遥控指挥问题,研究并设计了一种获取地下数据的装置,实现对矿井挖掘、运输等活动的远程控制^[27]。美国加州大学伯克利分校的L. Doherty等^[28]针对煤矿物联网系统中人员定位问题,通过研究提出了凸规划定位算法,该算法通过将节点定位问题转化为凸约束优化问题来计算位置坐标,定位精确度较高。澳大利亚工业研究所利用虚拟建模语言提出了“矿井数据四维可视化”概念,并开发了一个矿井四维可视化平台,实现了矿井地球物理、地质等数据的图片化展示,进而形成了矿山的虚拟环境^[29]。J. Rabaey等^[30]在2002年针对物联网RFID技术中的定位问题,提出了Robust Position节点定位算法,通过引入置信度来提高定位精确性,但该算法在系统实际应用中需要较长的覆盖时间。

在基础理论和关键技术方面,在无线传感器节点的微型化、低功耗设计、网络组织、数据处理与管理以及网络应用等方面取得了许多重要的研究成果。如Dust Networks和Crossbow Technologies等公司的智能尘埃、Mote及Mica系列节点已经产品化^[31]。加州大学研发的TinyOS嵌入式系统专门面向无线传感器网络,其代码量小,模块化好,可满足数据采集、网络通信等功能^[32]。

近年来,国外煤矿井下无线通信也有很大发展,如加拿大、美国、德国、澳大利亚等产煤大国都对井下无线通信进行了深入研究,基本上都实现了井下无线通信。大多数矿业公司都在积极研究现代化的无线通信系统,如超低频透地系统、小灵通通信系统等^[33]。美国宾汉顿大学计算机系统研究室通过对物联网接口协议的研究,在2005年前后分别提出了物联网中的各类协议标准,进而规范了物联网设计的相关标准。

2 煤矿物联网存在的问题

国内外在煤矿物联网理论和应用方面都取得了一定的成果,形成了关于感知矿山建设的应用理论模型,构建了感知矿山的开放性模型。对构建感知

矿山各层次所采用的关键技术和模型也形成了系统的研究论述,并在一些煤矿进行了示范应用,取得了不错的效果。然而,煤矿物联网的理论技术还存在很多问题值得进一步研究。

(1) 缺乏低功耗智能传感器及装置。高能效是煤矿物联网传感器与装置设计的必要条件。矿山现有传感器以有线供电、传输为主,其体积及功耗大,移动、维护困难。传感器的低功耗技术一直是研究的重点,已取得了一定进展,如中国矿业大学物联网(感知矿山)研究中心开发的MEMS(Micro-Electro-Mechanical System,微机电系统)瓦斯传感器功耗可降低30%以上。智能装置基本功能组件(通信与处理单元)的能耗在10 a内预计为目前的1%~10%,可采用能量捕获组件为连续运行的物联网装置供电^[34]。

(2) 缺乏矿井环境能量捕获技术。煤矿井下存在很多可利用的能量,如矿井通风产生的风能,带式输送机、采煤机等产生的动能等。如果能够捕获这些能量,就可为煤矿物联网传感器节点充电。目前,煤矿物联网还没有比较成熟的能量捕获技术,其他行业物联网中有一些研究成果可供参考,如智能家居已使用太阳能、温度差和开关振动等能量为一些传感器节点充电。振动能量采集装置的能量密度在10 a内有望从10 μ W/g提升到30 μ W/g,频率响应范围加大,可做到即插即用^[34],有望解决煤矿采掘工作面智能装置的供电问题。

(3) 缺乏数据与网络安全方法。随着煤矿物联网技术的不断发展,与当前互联网一样,都会存在安全漏洞。安全方面不容许存在弱点。煤矿物联网要得到广泛应用,就需要获得企业、政府和用户的认可,但不安全的网络数据环境无法得到认可。同时由于物联网改变了物物相联的关系,数据的不安全性可能会为企业带来巨大的经济损失。不安全的网络、不保护个人隐私的网络是不可能得到推广的。

(4) 缺乏公共服务平台。煤矿物联网最终会形成真实物理矿山、数字矿山和虚拟信息矿山的三者合一,形成一个由智能传感器、智能装备与矿山智能环境组成的Web服务平台。但目前大多数的煤矿物联网应用主要是垂直型的应用,局限在某个企业内部,属于企业信息化应用。随着网络物联物的增加,数据的种类及数量将大幅增加。只有形成公共服务平台,采用大数据及云计算技术,才能有效地处理海量的数据及产生的应用服务。

(5) 缺乏煤矿物联网相关标准。随着煤矿物联网技术的发展,矿山物联网、矿业集团物联网、省级矿山物联网和国家矿山物联网将得到大量应用,若

要增加煤矿物联网的可扩展性,使更多的信息可以共享、物物互动,煤矿物联网标准是核心问题。

3 煤矿物联网可能的发展方向

习近平总书记在推动能源生产和消费革命的讲话中明确指出,要立足国内多元供应保安全,大力推进煤炭清洁高效利用,着力发展非煤能源。煤炭行业的发展也将面临革命性的转变,将由资源限制型向生态环境友好型发展,由传统开采方式向多元科学开采发展,由单一煤炭生产向煤炭综合利用方向发展。煤矿物联网的发展也将随着煤炭行业的发展变革而在矿山得到广泛应用。从技术发展的模式来看,物联网技术的发展将呈现多种技术聚合发展的模式,如云计算、大数据与物联网的聚合发展,并在聚合发展中出现新的需求、新的研究与发明、新的市场份额。煤矿物联网主要涉及3类技术的发展。

(1) 嵌入式智能信息传感技术。针对矿山有限空间中的高效智能化环境感知,着重研究嵌入式智能信息感知技术,从而智能获取与矿山装备运行相关的语义数据。通过在井下环境中嵌入多种感知、计算设备,形成智能环境。嵌入式智能信息感知装置能够根据上下文识别煤矿开采设备的状态、频率、声音等有效信息,进而判断设备的运行状况,以提高设备的开采效率和运行保障能力。该方面主要涉及新材料、新型传感器、微电子技术、语义互操作、嵌入式软件和操作系统、M2M、低功耗网络与通信、能量捕获等技术。

(2) 基于大数据的矿山安全生产云服务平台。研究基于大数据时空行为分析等技术,提供高可靠、高扩展、高存取性能的多矿山大数据存储模式。基于大数据分析的矿山灾害孕育、演化及突发的全过程反演,实现矿山安全生产环境的“透明化”,在煤矿灾害的早期发现与预防领域实现突破。通过构建的基于云计算的统一服务平台,实现矿山安全生产信息的跨区域实时远程监测与共享服务。该方面主要涉及云计算(包括雾或微云)、大数据与物联网的聚合、数据发现与搜索等技术。

(3) 安全性。如何解决煤矿物联网的安全与隐私保护问题,是物联网发展进程中重要兼必要环节。该方面主要涉及传感器网络安全、RFID安全、核心网安全、移动通信接入安全、无线接入安全、数据处理安全、数据存储安全、云安全、安全管理等技术。

4 结语

中国经济目前已进入转型阶段,从追求GDP转变为可持续的科学发展。煤炭行业必须走科学发展

的道路,由单纯追求产量的粗放式开发转变为安全、高效、绿色的科学开发,并最终形成矿山生态环境。在该过程中,传感器或装置将由智能型转变为智慧型。煤矿物联网提供了对矿山物理世界从“感”到“知”再到“智慧”的技术,是实现科学开发煤矿和安全生产的重要手段。与其他行业的物联网一样,煤矿物联网的发展还存在诸多问题需要解决,如缺乏低功耗智能传感器及装置、矿井环境能量捕获技术、数据与网络安全方法、公共服务平台以及煤矿物联网相关标准等,涉及嵌入式智能传感技术、安全性等一些关键技术需要突破。

参考文献:

- [1] Gartner [EB/OL]. [2014-12-02]. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2636073>.
- [2] 吴立新,殷作如,邓智毅,等.论21世纪的矿山——数字矿山[J].煤炭学报,2000,25(2):337-342.
- [3] 吴立新,殷作如,钟亚平.再论数字矿山:特征、框架与关键技术[J].煤炭学报,2003,28(1):1-7.
- [4] 吴立新,汪云甲,丁恩杰,等.三论数字矿山——借力物联网保障矿山安全与智能采矿[J].煤炭学报,2012,37(3):357-365.
- [5] 张申,丁恩杰,徐钊,等.物联网与感知矿山专题讲座之一——物联网基本概念及典型应用[J].工矿自动化,2010,36(10):104-108.
- [6] 张申,丁恩杰,徐钊,等.物联网与感知矿山专题讲座之二——感知矿山与数字矿山、矿山综合自动化[J].工矿自动化,2010,36(11):129-132.
- [7] 张申,丁恩杰,徐钊,等.物联网与感知矿山专题讲座之三——感知矿山物联网的特征与关键技术[J].工矿自动化,2010,36(12):117-121.
- [8] 张申,丁恩杰,徐钊,等.物联网与感知矿山专题讲座之四——感知矿山物联网与煤炭行业物联网规划建设[J].工矿自动化,2011,37(1):105-108.
- [9] 张申,张滔.论矿山物联网的结构性平台与服务性平台[J].工矿自动化,2013,39(1):34-38.
- [10] 解海东,李松林,王春雷,等.基于物联网的智能矿山体系研究[J].工矿自动化,2011,37(3):63-66.
- [11] 张科利,任长忠.基于物联网的智慧矿山的智能生产系统展望[C]//第9届全国采矿学术会议暨矿山技术设备展示会论文集,2012.
- [12] 张长江,袁志金,王丽艳.矿山物联网体系及其应用[J].物联网技术,2012,2(9):72-75.
- [13] 孙彦景,钱建生,李世银,等.煤矿物联网络系统理论和关键技术[J].煤炭科学技术,2011,39(2):69-79.
- [14] 丁恩杰,张申,郁万里.矿山个人双向信息传输系统设计与实现[J].科技导报,2011,29(35):55-59.
- [15] 王继水,曹帅.基于物联网的矿山环境在线实时监测系统研究与实现[J].计算机测量与控制,2012,20(2):342-344.

[16] 李继云. 矿山物联网节点的研究与开发[D]. 淮南:安徽理工大学,2011.

[17] 张春辉. 基于 S3C2410 的物联网矿山数据采集终端的研究与设计[D]. 长沙:中南大学,2012.

[18] 邵国强. 矿用无线通信及人员定位管理系统设计[J]. 工矿自动化,2013,39(3):10-12.

[19] 孙彦景,钱建生. 煤矿综合自动化系统的研究与设计[J]. 矿业安全与环保,2010,35(3):4-7.

[20] 太平. 矿山物联网通信服务质量智能分组调度技术研究[D]. 包头:内蒙古科技大学,2012.

[21] 赵安新,卢建军,崔曼. 利用物联网构建矿山机电设备的监测平台[J]. 西安邮电学院学报,2010,15(6):85-87.

[22] 陈铎,王刚. 基于矿山物联网的设备动态管理系统[J]. 工矿自动化,2013,39(5):16-19.

[23] 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.

[24] 宋金玲,郝丽娜,魏培,等. 夹河煤矿感知矿山物联网方案设计及实施[J]. 煤炭科学技术,2012,40(9):68-71.

[25] 张雷,许云良,李刚. 感知矿山物联网在夹河煤矿的建设及应用[J]. 中国矿业,2012,21(增刊 1):133-135.

[26] 张杰. 物联网技术在神华宁煤集团数字化矿山建设中的应用研究[J]. 煤矿现代化,2012(5):25.

[27] JEYARAM A, BALASUBRAMANIAN R, MURTHY Y. Environmental aspects in Dalli-Rajhara ironore mine area, MP using digital image processing techniques [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing,1993,21(3):167-177.

[28] DOHERTY L. Algorithms for position and data recovery in wireless sensor networks [D]. Berkeley: University of California,2000.

[29] SMITH G L B, CARIS C, CARTER G. 4D visualization of exploration & mine data;" CISRO virtual mine"[R]. Australia CSIRO Exploration and Mining Report,2002(735).

[30] RABAEY J, LANGENDOEN K. Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks [C]//USENIX Technical Annual Conference,California,2002:317-327.

[31] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNA H. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002,1(4):660-670.

[32] 李文耀. 煤矿井下无线通信的现状与发展[J]. 机械管理开发,2005(1):53-54.

[33] 韦战,施伟斌. 基于无线传感器网络的嵌入式操作系统——TinyOS [J]. 装备制造技术,2010(4):99-100.

[34] IERC_Cluster_Book_2014_Ch. 3_SRIA_WEB[EB/OL].[2014-12-09]. [http:// www. internet-of-things-research. eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch. 3_SRIA_WEB. pdf](http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf).