

矿山人员状态信息描述方法研究

冯仕民^{1,2,3}, 丁恩杰^{1,2,3}, 刘忠育^{1,2,3}, 俞啸^{1,2,3}, 孟磊^{1,2,3}, 赵志凯^{1,2,3}

(1. 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;

2. 中国矿业大学物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008;

3. 徐州市物联网产业发展研究中心, 江苏 徐州 221008)

摘要: 矿山人员不安全行为是引发事故的关键因素, 而行为与人员的状态信息密切相关。本体被广泛应用于计算机科学中需要信息交换和知识共享的领域, 这些信息和知识包含复杂的结构和多种多样的语义。论述了矿山人员状态信息描述方法的研究, 首先介绍了其在物联网领域中的概况, 阐述了矿山人员状态信息描述的重要性和必要性, 介绍了语义网、情境描述和知识表示等研究背景, 分析了矿山人员状态信息感知描述方法。提出的本体模型, 基于 oneM2M 国际化技术规范。为了构建此本体, 借鉴了 oneM2M 基本本体的部分核心概念, 同时提出了专属于矿山人员状态信息描述的概念类、属性及关系。提出的矿山人员状态信息描述本体, 旨在达到规范信息描述、数据语义标注、知识共享和重用的目的。最后总结并展望了本体方法在矿山人员状态信息描述和行为识别研究中的前景。

关键词: 矿山物联网; 情境建模; 本体; 知识表示; 人工智能

中图分类号: TP181

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2019.00127

Research on methods of workers' context description in mines

FENG Shimin^{1,2,3}, DING Enjie^{1,2,3}, LIU Zhongyu^{1,2,3}, YU Xiao^{1,2,3}, MENG Lei^{1,2,3}, ZHAO Zhikai^{1,2,3}

1. National Joint Engineering Laboratory of Internet Applied Technology of Mines, Xuzhou 221008, China

2. Internet of Things (Perception Mine) Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China

3. Xuzhou Research Center of Industry Development for Internet of Things, Xuzhou 221008, China

Abstract: The worker's unsafe behavior is the key cause of mine accidents. The human activity is closely related with the context. Ontology is widely used in computer science in the field of information exchange and knowledge sharing, which contains complex structures and various semantics. Firstly, the research on the description of the miners' situational information in the mining field was summarized. It introduced the general situation in the field of the Internet of things. The importance and necessity of the description of the state information of mine personnel was presented. It introduced the research background, including semantic web, context description and knowledge representation. After that, the method of information description of mine personnel was described. The ontology model was proposed based on oneM2M international technical specifications. In order to construct this ontology, it was drawn on some of the core concepts of oneM2M Base Ontology. The concept classes, attributes and relationships that are specific to the information description of mine personnel were put forward. The context description of mine personnel proposed was aimed at achieving the purposes of specification information description, data semantic labeling, knowledge sharing and reuse. Finally, the conclusions were drawn and the prospect of using the ontology method for context perception and the miners' unsafe behavior recognition was presented.

Key words: mine Internet of things, context modeling, ontology, knowledge representation, artificial intelligence

收稿日期: 2019-09-24; 修回日期: 2019-11-25

基金项目: 国家重点研发计划项目“矿山安全生产物联网关键技术与装备研发”课题资助项目(No.2017YFC0804401)

Foundation Item: National Key Research and Development Program Project “Research and Development of Key Technologies and Equipment for Internet of Things in Mine Safety Production” (No.2017YFC0804401)

1 引言

物联网技术的发展,促进了工业生产向高效率、智能化方向发展。近些年,“中国制造 2025”引领工业界将一系列技术用于工业生产中以提高效率,其中,一个关键特点是生产中的人和物可以交互并联网。在矿山物联网领域,一些有传感测量和网络传输能力的智能化设备越来越多。这些设备被用来连续监测矿山的综合环境,构成矿山物联网的基础设施。一个智能化的监控系统运用相互关联的传感器,使用物联网技术将多传感器与“人、机、环”相关联,无缝整合这些多源异构实体,包括人、设备和环境,还包括产生的数据。在矿山这样一个相对封闭、动态的环境中,智能系统必须能够感知情境,对所处环境进行推理,才能为用户提供充分的信息和良好的服务。

近年来,矿山信息化水平有了显著提升,但各信息系统之间在数据分析和业务逻辑方面依然相互独立,伴随矿山物联网、大数据、云平台等相关系统建设,各系统间的物理连接已经基本建立,而系统间的信息交换、数据融合、逻辑关联及智能分析的问题亟待解决。工业领域的一个主要问题是确定一个特定生产任务的情境很困难,因为此过程包含很多种实体和关系^[1]。情境信息是指用来描述实体情况的任何信息,可以被视为一种特定的知识,因此,矿山人员状态信息描述方法是一种情境描述方法,也是一种知识表示方法。总的来说,目前存在的问题包括:数据缺少语义和互操作性^[2];矿山数据多源异构特性明显,融合困难;矿山缺少机器可读的、可重复使用的、可分享的领域知识,知识的缺失不利于智能化分析;领域知识缺乏统一描述规范。具体来说,矿山领域知识表示存在一些挑战,如多源异构特性明显,约 80%的信息是以文档这种非结构化的方式存储的;目前数据的转移、集成、分析等,需要花费大量的人力;矿山信息“孤岛”问题,矿山很少或几乎没有与外界知识源的联系;大数据处理和智能化分析也是一个问题。目前在矿山人员状态信息描述方面,缺乏统一的规范和标准。矿山人员状态信息的描述,对于实现矿山的数据、信息和知识共享具有重要意义。

语义网技术是一个合适的解决方案。此技术旨在正式地获取语义,支持自动推理、分享、集成和管理多源信息。近年来,随着物联网技术的发展,

联网的设备越来越多,产生的数据多源异构特性明显,为了从多源数据中提取有价值的信息,数据、信息和知识的语义化表示越发重要^[3-4]。

本体提供了一种标准的语义表达方式,本体研究已涉及医疗健康、农业、工业等多个领域,但矿山人员的状态信息描述仍缺乏统一的语义规范^[5-6],没有标准的、可用的本体^[7]。领域本体是关于物体的类型、属性和物体间关系的内容理论,用在一个特定的知识领域,提供表达此领域知识的词语^[8]。Cheng 等^[6]针对矿山多系统集成和信息分享等问题,为矿山构建本体,但没有涉及矿山人员状态信息描述本体的构建。Xue 等^[7]将情境感知概念引入矿山领域,涉及基于本体的矿山人员信息描述方法,但缺少对矿山人员状态信息的分析和建模。

矿山人员状态信息描述是人员不安全行为识别的基础^[9-10]。矿山是工业领域的危险和事故多发场所,Chen 等^[11]指出人的不安全行为引发的事故占矿山事故的 97.67%。基于多源数据、信息和知识,识别矿山人员的不安全行为,需要描述数据语义并表示矿山人员不安全行为知识。矿山人员状态信息描述对于实现人员的不安全行为识别具有重要意义,然而如何对人员的状态信息进行描述,仍有待研究。

基于上述问题,本文重点围绕矿山人员状态信息描述问题,首先介绍了矿山人员状态信息描述的研究背景和国内外现状,阐述了 oneM2M^[12]基本本体方法在物联网信息描述中的重要性,提出了一种基于本体的矿山人员状态信息描述方法,借鉴 oneM2M 基本本体中的关键概念,提出了一种基于 oneM2M 的矿山人员状态信息描述方法,最后展望了其在矿山物联网研究中的应用前景。

2 研究背景

2.1 语义网

物联网生态系统需要整合异构资源等,因此需要处理多源异构数据。万物网(WoT, web of things)可以让不同的物和系统在一起交互。语义物联网可以作为物联网的无缝延伸,允许物理世界和数字世界的集成。语义物联网的目的之一是将语义丰富且容易获取的信息集成到物理世界,连接智能物和数字实体^[13]。构建语义物联网有助于保证一个共同的理解,从 IoT 或 WoT 向语义物联网发展存在一些挑战,比如,为了让数据可理解,如何定义一个

统一的描述方法。

语义网旨在构建一个在异构应用和系统间分享和重复使用数据的框架，将当前非结构化和半结构化的互联网文档转为数据网，以一种正式、机器可读的方式来表示其中潜在的语义^[14-15]。用语义网技术将多传感器原始数据转换为统一格式，资源描述框架（RDF, resource description framework）是最常用的数据表示格式之一，用于在网上交换信息、描述资源的元数据。在应用中，基于统一的数据表示格式，连续监测、分析矿山传感器数据，可对矿山进行智能化态势评估，从而可以创造一个更高效、更安全的矿山生产环境。

在语义网中，本体一直发挥着重要作用^[16]。它最初属于哲学范畴，是对世界上客观存在事物的系统的描述。Gruber^[17]提出本体是对概念化的明确规范说明，这个定义是本体领域最被接受和最常被引用的定义^[18]。它支持知识分享和语义互操作，可以提供语义信息来进行推理，还可以帮助不同用户实现共同理解。

在近 20 年，本体被广泛应用于多个领域，如知识管理、人工智能、信息提取、自然语言处理、信息整合和行为识别等^[19-21]。将本体与规则结合，在本体基础上使用用户自定义的规则，可以表达比网络本体语言（OWL, web ontology language）表达性更丰富的语义关系，如语义网规则语言（SWRL, semantic web rule language）。Rodriguez 等^[22]聚焦于人体行为的情境本体，对表示情境和行为的本体进行了比较，强调了数据驱动和知识驱动相结合的方法在人体行为识别方面的重要性。在矿业领域，孟现飞^[23]研究了基于本体的煤矿事故预警知识库模型构成要素及相互关系并实践运用。药慧婷等^[24]通过分析井下掘进面中人员、设备及周围环境的相关知识，构建了掘进面安全生产本体。然而，矿山领域尚没有以人员状态信息描述为核心的本体。

2.2 情境描述

情境可用于描述一个实体场景的任何信息，实体可以是人、地点或物，物是与人和应用的交互相关的物品，包括人和应用^[25]。情境包含多种实体及关系，情境建模是一种收集、表示和在不同信息系统分享情境信息的有效方法^[26]。

情境信息可用多种方法建模表示，情境建模是实现情境感知的途径。情境建模的 6 类方法包括

key-value 模型、mark-up scheme 模型、graphical 模型、object-oriented 模型、logic-based 和 ontology-based 模型^[27]。基于本体的建模方法在简洁性、灵活性、可扩展性、一般性、表达性和自动代码生成等方面克服了其他模型的局限性^[23]。语义本体通过概念及它们之间的关系对情境进行描述，已被证实是一种有效的情境建模方法^[28]，基于本体的情境建模方法被认为是一种标准的情境建模方法^[29]。Bettini 等^[30]指出，本体模型有较好的表示和推理能力，但不高效，效率较低的主要原因是与推理引擎相关的计算复杂性较高，空间模型更有效率，但表示能力不如本体模型和基于对象的模型的表示能力强。Riboni 等^[31]指出，与其他表示方式相比，基于本体的情境信息表示方法有更多好处。Giustozzi 等^[1]提出了一种基于本体的情境模型，指出工业 4.0 时代情境感知应用不仅需要感知物的内在状态及与用户的交互，还需要感知情境。

使用本体进行情境建模，已有相关综述类文章，但在矿山人员状态信息描述方面，缺少相关论述。Baldauf 等^[32]围绕情境感知系统描述了不同的情境模型，指出本体建模是一种很有前途的情境建模方法。Bettini 等^[30]介绍了关于情境建模和推理的技术，对不同的情境信息进行建模的需求，介绍了高级情境抽象化的概念，比较了情境信息模型。在物联网情境感知计算方面，Perera 等^[27]评估了 50 个项目，包括了 2001—2011 年间情境感知计算领域的大部分研究和商业解决方案，对基于本体建模和推理方案的研究原型、系统和方法进行了大量评估。

本体提供了一个公认的词汇表来表示传感器数据、情境和事件，对使其在不同系统和平台间可理解、可分享、可互操作很重要。词汇表需要足够丰富以表达信息间的属性、结构和关系，从而使查询、个性化以及数据处理更方便，实现数据的分享和重复使用。此词汇表还可以用于语义标注数据，语义化与其他数据关联。

2.3 知识表示

本体是一种机器可读的知识表示方法。Perera 等^[27]指出情境可以从情境感知系统的一般活动中产生，在用户和系统间无交互行为发生时，情境也可以存在且变化。一些研究工作将情境定义为测量或推理的知识，这些知识在模型中表示。本体是一种正式

的知识表示方法,可用于表示情境信息。对于普适计算系统来说,情境信息的使用可以让普适计算系统适应用户和其他系统的需求。

知识是指经过组织和分析后易于理解并且方便解决问题或决策的信息。与其他人工智能领域一样,知识表示也是计算机语言学研究的关键内容。知识表示可以理解成对知识的一种描述,这种描述关注知识在计算机内部的编码方式。知识表示的目的是将新问题映射到熟悉且易于理解的事物上,通过机器简化问题的处理过程。几乎所有的人工智能系统都要实现对知识的正确表示。知识的表示方式应该有利于信息的自动处理和高效检索,因此知识表示方法变得更引人注目。

目前应用较广泛的知识表示方法,一般分为谓词逻辑表示方法、产生式规则表示法、语义网络表示方法、框架表示方法、面向对象的知识表示方法和基于本体的知识表示方法^[33]。谓词逻辑不适宜表示非确定性知识,灵活性差,推理效率不高;产生式规则不能表达结构性知识,易出现组合爆炸,效率不高;语义网络推理规则不明了,存在二义性,不便于判断性知识的表达;框架表示方法不善于表示过程性知识,无法保证可行性,适应能力不强;面向对象的方法表示方式不具体,接口单一;本体中的推理目前局限于逻辑推理,本体没有概率推理,一些研究人员用多种方法为本体推理机增加概率推理能力,如将本体与贝叶斯网络结合。贝叶斯网络具有表示知识的能力,同时具有概率推理的能力。因此,概率图模型如贝叶斯网络,也可归为一种知识表示方法。

知识表示用于探索在机器上进行知识描述的可行性、有效性以及通用的原则和方法,已经存在许多较成熟的知识表示方法。随着语义技术的兴起,本体被用来在人工智能中捕获知识并建立知识库模型。近年来,一些领域的学者为表示知识构建了不同功能的本体模型,这些模型主要应用于知识交流与共享、知识重用以及逻辑推理与论证。

在人体行为识别领域,由于数据驱动的人体行为识别方法受静态模板、数据稀缺性和扩展性的影响,很多国外学者基于本体进行知识驱动的行为表示与识别^[34]。本体语义模型可以较好地满足情境感知和个性化行为的描述需求。COSAR 是一个支持概率统计和本体推理的混合行为识别系统,其主要通过 ActivO 本体为行为和识别行为所需的情境信

息构建模型^[35]。在智能家居领域,Chen 等^[36]通过本体建模表示并识别人们的日常生活活动,他认为实现新一代智能家居的核心是语义数据的建模和表示,而本体不仅定义了领域内共同认可的结构化知识,还为智能代理间的信息交换、处理和集成提供了通用的媒介。在安全工程领域,Zhang 等^[37]认为建筑行业内的安全管理知识和信息模型之间缺少联系,因此构建了一种将管理常识形式化表示的施工安全本体。

国内的许多学者也对知识表示进行了研究。王永庆^[38]认为知识是一种信息结构,相关信息通过这种结构进行关联,知识表示就是对知识的一种描述。随着人工智能和语义网技术的发展,本体受到了更多的关注。钟秀琴等^[39]利用本体描述了几何学知识,构建了比较完善的领域知识体系。然而,在矿山人员状态信息描述方面,缺少知识表示方法。

3 人员状态信息描述方法发展趋势

目前,IoT 标准化存在明显的碎片化和重叠问题,一些标准不能满足智慧、安全的物联网平台的需求。国际电工委员会(IEC, International Electrotechnical Commission)在《IoT 2020 白皮书》中指出了标准化环境的主要不利因素和主要有利因素以及未来标准化环境的发展方向,垂直和专业标准来自相关组织的基于特定领域或地域的标准,在可能的情况下,它们应该利用更高层次的水平标准^[40]。国际标准应该是在国际层面上详细制定跨领域、国界、功能和需求标准活动的首选方法,这就是水平标准化,oneM2M 通用水平化服务标准受到世界众多组织的关注,oneM2M 基本本体(Base Ontology)在物联网领域保证数据语义性方面,发挥着越来越重要的作用。

为解决设备和系统互联、信息描述的问题,物联网标准制定组织已经做了许多工作。国际化标准组织 oneM2M 提出了基于本体的物联网信息描述技术规范。oneM2M 基本本体由国际化标准组织联盟共同开发,用于解决物联网多源信息统一描述的难题。oneM2M 是一个全球化组织,由不同国家的标准制定组织创建于 2012 年,组织成员来自中国、韩国、日本、美国、欧洲国家等。目前,oneM2M 的会员来自于工业的很多领域,包括工业制造商和提供商、消费设备生产商、组件提供商以及电信服

务运营商。oneM2M 引入语义网技术,用语义表达数据和信息的含义,为多源异构数据的抽象和信息的语义描述提供统一的规范,一个具有高灵活性的统一框架,即 oneM2M 基本本体,通过使用统一的表达模型、标准的访问接口和高效的交换机制,可以跨越多个领域、完整可靠地描述多源信息。oneM2M 在 2014 年 8 月发布了第一版规范,其中,用于 M2M 数据和信息语义描述的 oneM2M 基本本体已更新至 2019 年 2 月的版本。

4 基于“本体”的矿山人员状态信息描述方法

4.1 选用本体的好处

本体澄清了领域知识的结构,统一的术语和概念使知识共享成为可能,构造本体的目的是为了实现在某种程度的知识共享和重用。具体来讲,本体是领域内实体、属性及其关系形式化描述的基础,可成为软件系统中可重用和共享的组件;当构造基于知识的系统时,用本体作为基础,可以提高其速度和可靠性;在可靠性方面,本体形式化的表达使得自动的一致性检查成为可能,可以提高软件的可靠性;使用本体有助于确定信息系统的需求和规范。

本体作为一种知识表示方法,与谓词逻辑、框架表示等其他方法的区别在于它们属于不同层次的知识表示方法,本体表达了概念的结构、概念之间的关系等领域中实体的固有特征,即“共享概念化”,而其他知识表示方法,如语义网络等,可以表达某个体对实体的认识,不一定是实体的固有特征,这正是本体层与其他层知识表示方法的本质区别。

研究人员将本体概念引入知识工程,详细说明模型中涵盖的概念、实例、关系和公理等实体,并以此建立本体。通过使用元属性对属性进行分析,并对属性提出了一种针对本体建模概念化分析的形式化方法,解决了知识共享中的一些问题,有效地促进了来自不同领域的研究人员和组织间的交流。

总的来说,语义技术通过简单抽象的知识表示模型将应用与数据分离,有助于理解含义的不同点,不管是结构化数据、半结构化数据还是非结构化数据,人和机器都可理解。

选用本体的好处包括:1) 高效率,可重复使用,资源可被发现;2) 低花费,减少不必要的数据存储

等支出;3) 提高洞察力,以前未连接起来的、隐含的关系等,通过语义进行连接、发掘,实现创新;4) 本体支持跨学科研究,对于交叉学科融合创新具有重要意义。

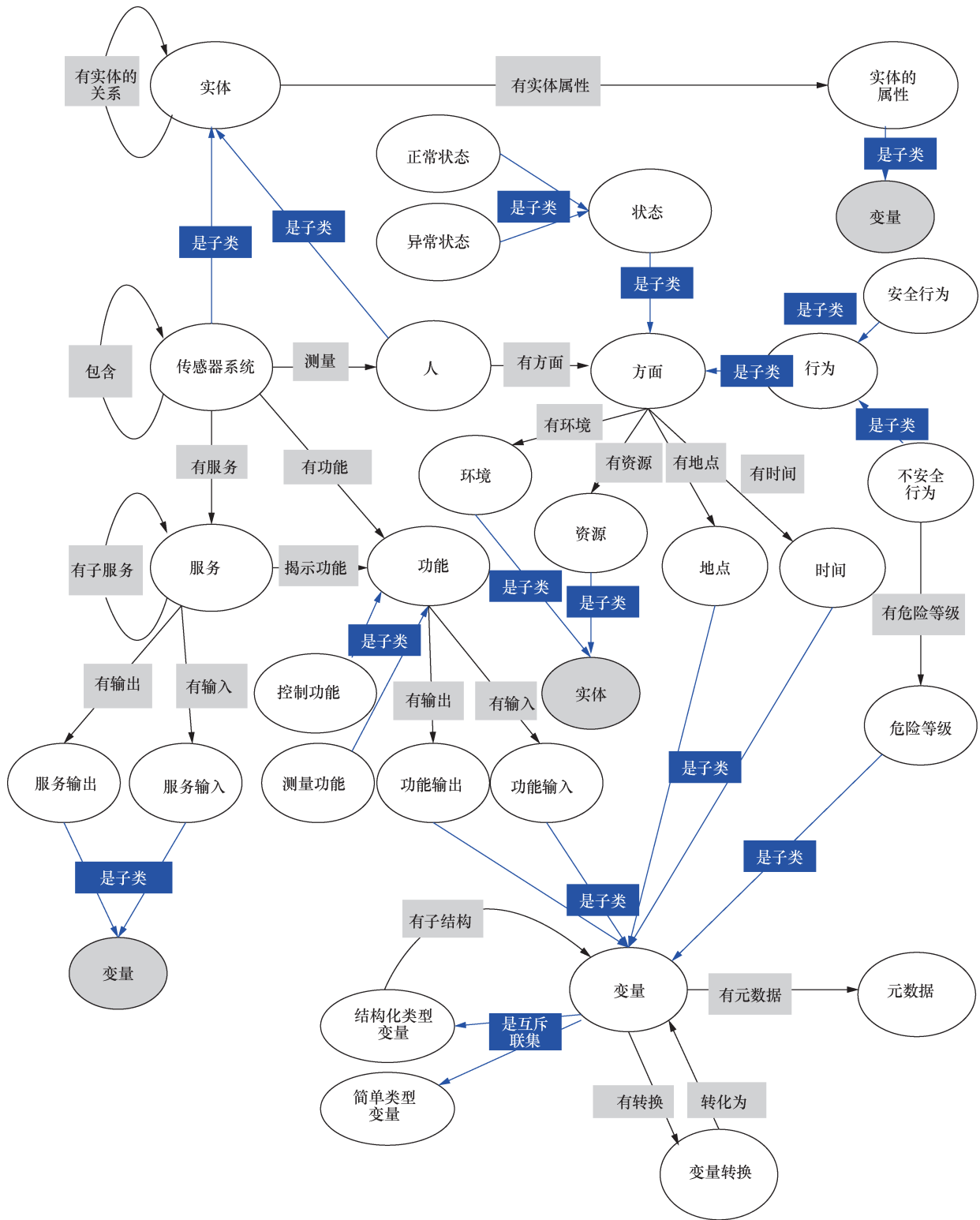
本体可用于矿山人员信息描述,人可理解且机器可读,为矿山信息构建语义本体模型,能够为矿山人员不安全行为识别提供坚实的基础。首先,本体作为描述领域概念的建模方法,可以提供相关领域的知识,并通过形式化方法描述概念及相关的属性来实现对领域知识的共同理解,以解决对矿山同一实体描述不同、表达不规范等问题,达到信息、知识共享和重复使用的目的;其次,本体模型为异构数据的集成和互操作及多源异构数据的融合提供了统一的语义框架;最后,通过运用矿山人员语义本体模型及推理机,实现矿山人员不安全行为判断,从而有助于矿山智能决策系统的建设。

4.2 基于 oneM2M 国际化技术规范

目前,因缺少在不同设备、应用、数据采集和存储系统之间进行数据和信息统一描述的标准,物联网发展受到影响。起源于 20 世纪 80 年代的一些工业自动化技术形态的碎片化,给物联网产业的发展带来了挑战。例如,一个煤矿的设备很多,不同煤矿的设备可能由不同厂商提供,设备运行方式、采集数据的方式以及数据的传输、存储方式都不同。因为缺少标准,把不同煤矿数据进行关联或一个煤矿不同设备之间的数据关联,复杂度很高,将不相干的数据源的数据关联或从中提取有价值的信息,很有挑战性。

本文提出的矿山人员状态信息描述方法,基于 oneM2M 基本本体国际化技术规范并进行了修改,顺应国内外物联网标准的发展趋势,符合国际化要求,具有重要意义。oneM2M 基本本体在物联网数据和信息统一描述方面,已获得众多国际化组织的认可。因此,参考 oneM2M 国际化技术规范,在矿山“人、机、环”状态信息统一描述方面,采用 oneM2M 基本本体架构,针对矿山特殊的复杂环境,将生产过程中人员信息集成到一个统一的语义框架里,完成统一描述,矿山人员状态信息统一描述——本体模型如图 1 所示。

针对矿山安全生产过程中不同结构、量纲、属性、维度、层次的感知信息,提出了基于本体的描述方法,确定了人员信息描述的 29 个概念(类)、属性及关系。通过本体公认的词汇表,在不同系统



注：灰色阴影表示此类在图中多次出现

图1 矿山人员状态信息统一描述——本体模型

和平台间实现了资源语义标注、可互操作、知识共享和重用的目的。

5 结束语

针对目前矿山人员状态信息描述问题, 本文论述了矿山领域人员状态信息描述方法的研究, 提出了一种基于本体的矿山人员状态信息描述方法。首先介绍了矿山人员状态信息描述方法在物联网领域的概况, 阐述了语义网、情境描述和知识表示等研究背景, 分析了矿山人员状态信息感知描述方法。本文提出了基于 oneM2M 国际化技术规范的本体模型, 为了构建此本体, 借鉴了 oneM2M 基本本体的部分核心概念, 同时提出了专属于矿山人员状态信息描述的概念类、属性及关系, 提出的矿山人员状态信息描述本体, 旨在达到规范信息描述、数据语义标注、知识共享和重用的目的。

矿山人员不安全行为的识别, 需要矿山人员的知识, 而本体是矿山人员知识库构建的基础。本文提出的本体模型, 可用于基于知识驱动或数据驱动与知识驱动相结合的矿山人员不安全行为识别研究。基于本体的矿山人员状态信息描述方法, 将可用于解决矿山安全态势分析中的多源异构数据和信息难融合、矿山知识缺失和表达不规范等问题, 实现矿山安全生产感知信息的数字化、模型化和统一描述, 对智慧矿山的建设具有重要意义。

参考文献:

- [1] GIUSTOZZ F, SAUNIER J, ZANNIMERK C. Context modeling for industry 4.0: an ontology-based proposal[J]. *Procedia Computer Science*, 2018, 126: 675-684.
- [2] LEAL G D S S, GUEDRIA W, PANETTO H. Interoperability assessment: a systematic literature review[J]. *Computers in Industry*, 2019, 106: 111-132.
- [3] AGARWAL R, FERNANDEZ D G, ELSALEH T, et al. Unified IoT ontology to enable interoperability and federation of testbeds[C]//IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT). IEEE, 2016.
- [4] AMELIE G, ANTOINE Z, AMIT S. Building IoT based applications for smart cities: how can ontology catalogs help?[J]. *IEEE Internet of Things Journal*, 2018, 5(5): 3978-3990.
- [5] 丁恩杰, 施卫祖, 张申, 等. 矿山物联网顶层设计[J]. *工矿自动化*, 2017, 43(9): 1-11.
DING E J, SHI W Z, ZHANG S, et al. Top-down design of mine Internet of things[J]. *Industry and Mine Automation*, 2017, 43(9): 1-11.
- [6] CHENG G, ZHANG Y L, WANG F, et al. Construction and application of formal ontology for mine[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2011, 21(supp-S3): 577-582.
- [7] XUE X, CHANG J K, LIU Z Z. Context-aware intelligent service system for coal mine industry[J]. *Computers in Industry*, 2013, 65(2): 291-305.
- [8] CHANDRASEKARAN B, JOSEPHSON J R, BENJAMINS V R. What are ontologies, and why do we need them?[J]. *IEEE Intelligent Systems*, 1999, 14(1): 20-26.
- [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 J Q, DING E J, ZHANG S, et al. Prospect of perception mine Internet of things and its development trend[J]. *Industry and Mine Automation*, 2016, 42(9): 1-5.
- [10] 冯仕民, 刘忠育, 俞啸, 等. 矿山物联网人员情境描述与不安全行为识别[J]. *物联网学报*, 2018, 2(4): 97-102.
FENG S M, LIU Z Y, YU X, et al. Workers' context description and unsafe behavior recognition in Internet of things for mines[J]. *Chinese Journal on Internet of Things*, 2018, 2(4): 97-102.
- [11] CHEN H, QI H, LONG R, et al. Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors[J]. *Safety Science*, 2012, 50(4): 745-750.
- [12] CHOI J, KIM Y, SHIN S, et al. Smart IoT monitoring framework based on oneM2M for fog computing[C]//ACM Symposium on Applied Computing. ACM, 2018.
- [13] JARA A J, OLIVIERI A C, BOCCHI Y, et al. Semantic web of things: an analysis of the application semantics for the IoT moving towards the IoT convergence[J]. *International Journal of Web and Grid Services*, 2014, 10(2): 244-272.
- [14] NACER H, AISSANI D. Semantic web services: standards, applications, challenges and solutions[J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2014, 44: 134-151.
- [15] DOU D, WANG H, LIU H. Semantic data mining: a survey of ontology-based approaches[C]//IEEE International Conference on Semantic Computing. IEEE, 2015.
- [16] YANG A, CORMICAN K, YU M. Ontology-based systems engineering: a state-of-the-art review[J]. *Computers in Industry*, 2019, 111: 148-171.
- [17] GRUBER T R. A translation approach to portable ontology specifications[J]. *Knowledge Acquisition*, 1993, 5(2): 199-220.
- [18] CORCHO O, MARIANO FERNÁNDEZ-LÓPEZ, ASUNCIÓN GÓMEZ-PÉREZ. Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?[J]. *Data & Knowledge Engineering*, 2003, 46(1): 41-64.
- [19] IQBAL R, MURAD M A A, MUSTAPHA A, et al. An analysis of ontology engineering methodologies: a literature review[J]. *Research Journal of Applied Sciences (Engineering and Technology)*, 2013, 6(16): 2993-3000.
- [20] STUDER R. Knowledge engineering: principles and methods[J]. *Data & Knowledge Engineering*, 2008, 25(1-2): 161-197.
- [21] KIM J, JEON M, PARK H, et al. An approach for recognition of human's daily living patterns using intention ontology and event calculus[J]. *Expert Systems with Applications*, 2019, 132: 256-270.
- [22] RODRÍGUEZ N D, CUÉLLAR M P, LILIUS J, et al. A survey on ontologies for human behavior recognition[J]. *ACM Computing Surveys*, 2014, 46(4): 1-33.
- [23] 孟现飞. 基于本体的煤矿事故预警知识库模型及其应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
MENG X F. The knowledge base model of coal mine accident early warning based on ontology and its application[D]. Xuzhou: China

University of Mining and Technology, 2014.

- [24] 药慧婷, 陈立潮, 潘理虎. 掘进工作面本体模型研究[J]. 工矿自动化, 2015(9): 97-100.
YAO H T, CHEN L C, PAN L H. Research of ontology model of heading face[J]. Industry and Mine Automation, 2015(9): 97-100.
- [25] DEY A K. Understanding and using context[J]. Personal Ubiquitous Computing, 2001, 5(1): 4-7.
- [26] CAO Y, KLAMMA R, HOU M, et al. Follow me, follow you—spatiotemporal community context modeling and adaptation for mobile information systems[C]//IEEE 9th International Conference on Mobile Data Management. IEEE, 2008.
- [27] PERERA C, ZASLAVSKY A, CHRISTEN P, et al. Context aware computing for the Internet of things: a survey[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(1): 414-454.
- [28] MOORE P, HU B, ZHU X, et al. A survey of context modeling for pervasive cooperative learning[C]//IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education. IEEE, 2007.
- [29] AGUILAR J, JEREZ M, RODRIGUEZ T. CAMEonto: context awareness meta ontology modeling[J]. Applied Computing and Informatics, 2017, 14(2): 202-213.
- [30] BETTINI C, BRDICZKA O, HENRICKSEN K, et al. A survey of context modelling and reasoning techniques[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2010, 6(2): 161-180.
- [31] RIBONI D, BETTINI C. Context provenance to enhance the dependability of ambient intelligence systems[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2012, 16(7): 799-818.
- [32] BALDAUF M, DUSTDAR S, ROSENBERG F. A survey on context-aware systems[J]. Ubiquitous Computing, 2007, 2(4): 263-277.
- [33] RIAÑO D, PELEG M, TEIJE A T. Ten years of knowledge representation for health care (2009-2018): topics, trends, and challenges[J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2019, 100: 101713.
- [34] MEDITSKOS G, KOMPATSIARIS I. iKnow: ontology-driven situational awareness for the recognition of activities of daily living[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2017, 40: 17-41.
- [35] RIBONI D, BETTINI C. COSAR: hybrid reasoning for context-aware activity recognition[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2011, 15(3): 271-289.
- [36] CHEN L, NUGENT C, MULVENNA M, et al. Semantic smart homes: towards knowledge rich assisted living environments[M]. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [37] ZHANG S, BOUKAMP F, TEIZER J. Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA)[J]. Automation in Construction, 2015, 52: 29-41.
- [38] 王永庆. 人工智能原理与方法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998.
WANG Y Q. Principles and methods of artificial intelligence[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1998.
- [39] 钟秀琴, 符红光, 余莉, 等. 基于本体的几何学知识获取及知识表示[J]. 计算机学报, 2010, 33(1): 167-174.
ZHONG X Q, FU H G, SHE L, et al. Geometry knowledge acquisition and representation on ontology[J]. Chinese Journal of Computers, 2010, 33(1): 167-174.
- [40] IEC. White paper IoT 2020: smart and secure IoT platform[S]. 2016.

[作者简介]



冯仕民(1983-), 男, 江苏连云港人, 博士, 中国矿业大学讲师, 主要研究方向为物联网、传感器融合、人机交互、机器学习和人工智能等。



丁恩杰(1962-), 男, 山东青岛人, 中国矿业大学教授、博士生导师, 主要研究方向为矿山信息化、煤矿综合监测监控、矿井无线传感器网络和矿山物联网等。



刘忠育(1985-), 男, 河南新乡人, 中国矿业大学信息与控制工程学院博士生, 主要研究方向为语义物联网、行为识别和3D场景语义理解。



俞啸(1989-), 男, 山东济宁人, 中国矿业大学博士, 主要研究方向为故障诊断方法、嵌入式系统与物联网技术、机器学习与人工智能技术。



孟磊(1982-), 男, 山东济宁人, 博士, 中国矿业大学副研究员, 主要研究方向为基于物联网的矿山环境感知、矿井排水优化理论与方法等。



赵志凯(1983-), 男, 河北石家庄人, 博士, 中国矿业大学助理研究员, 主要研究方向为物联网、机器学习、模式识别和数据挖掘等。