

## 矿山物联网人员情境描述与不安全行为识别

冯仕民<sup>1,2,3</sup>, 刘忠育<sup>1,2,3</sup>, 俞啸<sup>1,2,3</sup>, 孟磊<sup>1,2,3</sup>, 赵志凯<sup>1,2,3</sup>, 丁恩杰<sup>1,2,3</sup>

(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:** 矿山的环境复杂, 智能化识别此类行为需要数据驱动方法和基于机器可读的领域知识的方法, 然而矿山物联网的数据缺乏语义信息, 矿山人员状态信息和不安全行为知识没有标准的表示方法。为解决上述问题, 提出了一种基于语义本体的人员状态信息感知描述方法及一种数据驱动和知识驱动相结合的矿山人员不安全行为识别框架。首先介绍了语义本体在物联网领域的概况, 阐述了矿山人员不安全行为识别的重要性和必要性, 介绍了人员行为识别、情境感知和语义本体等研究背景, 引出了矿山人员状态信息感知描述方法。基于此情境建模, 提出了一种矿山人员不安全行为识别框架并应用于矿山人员不佩戴防护与安全装备的不安全行为识别, 最后总结并展望了人工智能方法在矿山物联网应用层研究中的前景。

**关键词:** 矿山物联网; 不安全行为; 行为识别; 本体; 人工智能

**中图分类号:** TP181

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.2096-3750.2018.00083

## Workers' context description and unsafe behavior recognition in Internet of things for mines

FENG Shimin<sup>1,2,3</sup>, LIU Zhongyu<sup>1,2,3</sup>, YU Xiao<sup>1,2,3</sup>, MENG Lei<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Zhikai<sup>1,2,3</sup>, DING Enjie<sup>1,2,3</sup>

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

**Abstract:** The mine is a complicated environment. The intelligent recognition of such behavior requires not only the data-driven activity recognition method, but also the machine-readable domain knowledge based approach. However, the data of IoT for mines lacks the semantic information. Besides, there is no standard way of describing the worker's context and representing the knowledge of worker's unsafe behavior. In order to solve the above problems, a semantic ontology based approach to describing the worker's context and a hybrid method based framework for worker's unsafe behavior recognition were presented. This method combines the data-driven approach and the knowledge-driven approach. Firstly, an introduction to the semantic ontology in the Internet of things was given. Then, the importance and necessity of worker's unsafe behavior recognition was introduced. After that, the research background on human activity recognition, context-awareness and semantic ontology was presented. This was followed by the semantic ontology based approach to the worker's context description. Based on the context modeling, the framework that combined the data-driven method and the knowledge-driven method for the worker's unsafe behavior recognition was proposed. The application of the framework was illustrated with the recognition of a kind of worker's unsafe behavior who don't wear the protective and safety equipment. Finally, the conclusions were drawn and the prospect of using the artificial intelligence method in the application layer of mine IoT was presented.

**Key words:** mine Internet of things, unsafe behavior, activity recognition, ontology, artificial intelligence

收稿日期: 2018-08-09; 修回日期: 2018-10-29

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

近年来,随着物联网技术的发展,联网设备越来越多,大数据多源异构特性明显,为了把多源数据进行关联并从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<sup>[1]</sup>。互联网下一步将发展为语义网,语义网技术被引入物联网领域,产生了语义物联网<sup>[2-3]</sup>。Tim Berners-Lee 提出语义网模型<sup>[4]</sup>,其重要思想是以本体表示语义信息,通过在语义网中引入本体层以实现语义信息的共享。本体提供了一种标准的语义表达方式,在物联网领域得到了较广泛的应用<sup>[3]</sup>。在标准研究方面,出现了语义传感器网络本体(semantic sensor network ontology)、IoT-O 本体等<sup>[5-6]</sup>,但物联网领域没有统一的语义框架和数据标准,这依然是一个开放性的问题<sup>[3]</sup>。

矿山物联网领域存在同样的问题,在领域本体方面,语义本体研究已涉及医疗健康、农业、工业等多个领域,但矿山领域的语义本体仍缺乏统一的规范和标准<sup>[7]</sup>,在矿山人员状态信息描述领域,没有标准的、可用的本体<sup>[8]</sup>。矿山是一个“人”、“机”、“环”融合的复杂系统,矿山物联网具有地下相对封闭复杂环境的特殊性,数据缺乏语义信息,领域知识表达不规范。Cheng 等<sup>[9]</sup>针对矿山多系统集成和不同信息源信息分享等困难问题,为数字矿山构建本体,没有涉及矿山人员情境本体构建。薛霄等<sup>[8]</sup>将情境感知概念引入矿山领域,对矿工的情境进行描述和推理,涉及基于本体的矿工信息描述方法,但缺少对矿山人员复杂情境的分析和建模。基于多源数据、信息和知识,识别矿山人员不安全行为,需要一个本体来描述数据语义并表示矿山人员不安全行为知识,本文提出了一种基于本体的矿山人员状态信息描述方法。

矿山人员状态信息描述是矿山人员不安全行为识别的基础,在矿山物联网领域,人体行为监测的目的是识别矿山人员的不安全行为,保证矿山的安全性。人员感知属于矿山三大感知之一,矿山人员不安全行为的识别是矿山人员感知的关键<sup>[10]</sup>。矿山是工业领域危险和事故多发场所,煤矿事故调查数据显示,我国近 30 年煤矿重大事故发生的原因中,人为因素所占的比例高达 96.5%<sup>[11]</sup>,Chen 等<sup>[12]</sup>指出人的不安全行为引发的事故占 97.67%。依据 GB6441-86 企业职工伤亡事故分类标准,不安全行为可定义为造成人身伤亡事故的人为错误、引起事

故发生的不安全动作以及应按照安全规程去做却没有去做的行为。矿山人员不安全行为主要指违章指挥、违章作业及违反劳动纪律的行为。传统的矿山人员不安全行为防控主要依靠安全训练和实地监管<sup>[13]</sup>。基于行为的安全管理(behavior based safety)是一种广泛应用于多个工业领域的安全防控方法,通过改变人的行为让矿山人员更安全地作业<sup>[14]</sup>。在实地监管方面,矿山领域主要依靠安检员巡查,耗时耗力且不客观、不及时,手动记录数据可能不准确,不能满足矿山智能化监控的需求。除此之外,矿山的人员定位系统和视频监控系统在人员不安全行为监测方面发挥了一定作用,但智能化水平较低,急需智能化人员不安全行为识别方法,以规范人员行为、改变人力监管方式,从而提高矿山安全防控水平。

基于上述问题,本文重点围绕矿山人员情境描述和不安全行为识别问题,首先提出了一种基于本体的矿山人员状态信息描述方法,基于数据的语义特征完成矿山人员状态信息感知描述;然后提出了一种结合数据驱动方法和知识驱动方法的矿山人员不安全行为识别框架,结合本体和机器学习等人工智能方法,实现矿山智能化感知、辨识和决策,完成语义矿山的建设,对于提高矿山安全性具有重要意义。本文介绍了矿山人员不安全行为识别的研究背景,阐述了人工智能方法在矿山人员不安全行为监测中的重要性,展望了其在矿山物联网应用层研究中的前景。

## 2 研究背景

### 2.1 行为识别

人员行为识别在物联网、计算机视频监控、医疗、老年人健康监护及人机交互等多个领域具有广泛应用<sup>[15]</sup>。人体行为识别方法大致分为两类:基于计算机视觉和基于传感器的方法<sup>[16]</sup>。近年来,RGB-D 体感传感器为人员行为识别的研究提供了极大的便利条件。随着传感器技术的发展,基于多源信息融合的人员行为识别方法是未来的发展趋势。深度学习方法在基于图像处理的人体行为识别方面已成为研究热点<sup>[17]</sup>,基于语义的人体行为识别方法也日益受到关注。智能化矿山人员不安全行为识别,需要考虑情境信息<sup>[18]</sup>。

### 2.2 情境感知与语义本体

人的动作行为是在一定情境中发生的,人的行

为分析离不开情境，如何对矿山人员情境进行描述并建模分析，是准确识别矿山人员不安全行为的关键。位置、人员、物体和时间等都属于情境信息，这些信息对于行为识别极其重要。Dey 等<sup>[19]</sup>对“情境”的定义为：情境是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。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<sup>[20]</sup>。语义本体通过概念及其相互关系对情境进行描述，是情境建模的常用方法之一，已被证实是一种有效的情境建模方法<sup>[21]</sup>。

本体 (ontology) 最初属于哲学范畴，是对世界上客观存在事物的系统描述。在计算机与信息科学领域，斯坦福大学的学者 Thomas RG 提出本体是对概念化的明确规范说明<sup>[22]</sup>。扩展后，本体是共享概念模型的明确形式化规范说明。语义本体支持知识分享、为智能体提供语义信息以进行推理、语义互操作性以及帮助不同用户共同理解情境信息。概念化是指对客观世界的抽象和简化；明确即显式定义所使用的概念以及概念的约束；形式化即精确的数学描述；共享是指本体所描述的是特定领域被共同认可的知识且能够被机器所理解、处理。

本体可用于矿山人员情境描述，人可理解且机器可读，为矿山人员状态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，并通过使用形式化方法描述概念及相关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识，有助于矿山智能决策系统的建设。

### 3 基于本体的矿山人员状态信息描述方法

对矿山人员的状态信息进行描述，可以捕获影响矿工不安全行为的相关因素，提供对该领域知识的共同理解，形成领域内通用的知识描述。同时，可以基于语义进行一致性检验和编程推理，为矿山人员不安全行为的判识提供知识支撑。通过对领域知识进行细致的分析，抽取领域关键概念和概念之

间的关系，进行本体构建。矿山人员的状态信息感知即情境感知，因矿山环境复杂，矿山人员相关数据信息来源多而杂，人员信息描述涉及多方面，如人员属性、交互设备、资源、所处环境、动作、时间，人员属性包括姓名、性别、年龄、工种、健康状况、技能和任务，资源包括防护与安全装备、各种用品和工具等，所处环境包括地点和环境状况。矿山人员不安全行为的影响因素分为两个方面，即内部因素和外部因素。参照目前矿山人员不安全行为管理方法，依据《煤矿安全规程》将矿山人员不安全行为按照专业种类分为通用、采掘、机电、运输、地测防治水、一通三防、地面及其他共七大类，每一大类包含子类。针对矿山人员某一类不安全行为，描述要素包括人员属性，即个人信息、资源、动作、交互设备、所处环境和时间，矿山人员状态信息描述要素如图 1 所示。按照本体构建方法，完成矿山人员不安全行为的情境建模。

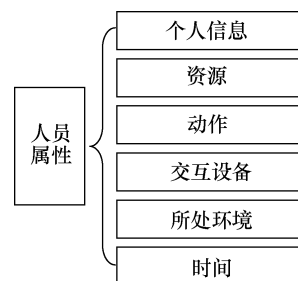


图 1 矿山人员状态信息描述要素

矿山人员情境描述的本体构建流程如图 2 所示，共包括 6 步。第一步，确定矿山人员情境本体构建的必要性、目的、范围及应用；第二步，获取矿山人员的领域知识；第三步，明确矿山人员情境的关键概念；第四步，构建矿山人员情境的分类体系；第五步，进行一致性检验，如果通过，则转至第六步，否则，返回第三步进行修改并重新构建分类体系，再次进行一致性检验；第六步，本体构建完成。

### 4 数据驱动方法与知识驱动方法相结合的矿山人员不安全行为识别框架

矿山人员不安全行为识别框架，结合了数据驱动方法和知识驱动方法，具体如图 3 所示，包括多源数据采集预处理模块、情境要素感知模块、语义本体模块、行为识别结果及应用 4 个模块。首先，通过多源数据采集预处理模块，获取 RGB-D 体感

数据、图像、可穿戴设备数据、设备传感器数据及环境传感器数据等，运用机器学习等方法对数据进行处理，识别情境要素如人员信息、防护与安全装备、动作、资源、交互设备、所处环境状况等，作为语义本体模块的输入。

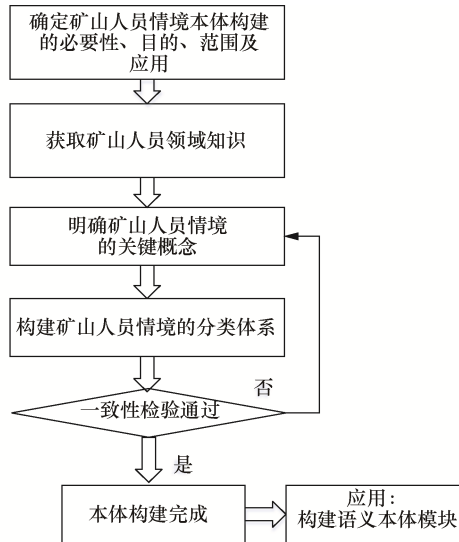


图 2 矿山人员情境描述的本体构建流程

语义本体模块的核心是知识驱动方法，在对人员各方面信息进行语义描述的基础上，通过制定语义规则对矿山人员行为进行监测，对其不安全行为进行判识。语义本体模块的输出是不安全行为的判识结果，此结果可用于应用层服务系统，实现报警等功能。

### 5 应用

本文提出的基于本体的矿山人员状态信息感知描述方法与不安全行为识别框架，适用于矿山的各种应用场景。本文选取矿山人员的一种通用性不安全行为进行分析，即矿山人员防护与安全装备佩戴不齐行为。

本实验通过 RGB-D 体感传感器和数据库获取人员数据，通过构建本体建立情境模型，通过情境

模型判识情境要素之间的关系是否为不安全行为。此场景中矿山人员的不安全行为判识规则定义为：人员不佩戴一种或几种防护与安全装备。首先，确定矿山人员常用的防护与安全装备，本实验中选取安全帽、矿灯、自救器和定位卡。多源数据采集预处理模块的功能是通过环境中的传感器、装备内嵌传感器及服务器数据库，获取多源数据并进行预处理，通过环境中的 RGB-D 体感传感器采集 RGB 图像和深度图像，获取待识别物体的图像和人体骨骼关节坐标，通过服务器数据库获取个人属性信息；此应用场景中，情境要素感知模块的功能为运用机器学习方法识别防护与安全装备以及人员动作，识别安全帽、矿灯、自救器及定位卡；语义本体模块构建了人和物的情境本体，明确了人员状态信息描述的要素、属性及关系，通过结合情境要素感知模块和语义本体模块，识别防护和安全装备与人体骨骼关节位置的空间关系，如当安全帽不在人员头部位置时，可判别为不安全行为；人员行为识别结果及应用模块运用矿山人员不安全行为识别的结果，搭建应用服务系统，及时报警并把不安全行为信息通知相关人员，以便采取措施及时阻止可能险情的发生。

本文在 Python 环境中搭建了矿山人员情境描述与不安全行为识别系统，包括图 3 中 4 个模块子系统。情境要素感知模块使用深度学习模型实现防护与安全装备检测；在语义本体模块，本文使用基于 Python 的 Owlready<sup>[23]</sup>对本体进行编程和推理，对不安全行为进行判识。面向本体的编程以面向对象编程为基础，利用本体和对象模型类之间存在的相似性，即本体中的类、特性和个体对应于对象模型中的类、属性和实例。面向本体的编程将本体和给定编程语言的对象模型进行连接或统一。Owlready 包括 5 个组成部分：1) 一个优化的 RDF 存储，用 SQLite3 中的 SQL 数据库实现；2) OWL 类和结构的元类；3) 可选的 Python 源文件，用于

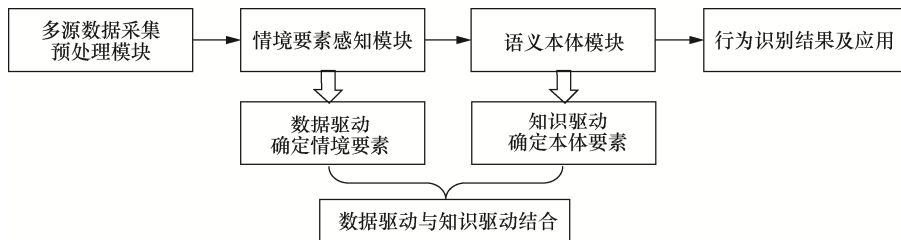


图 3 矿山人员不安全行为识别框架

定义插入 OWL 类中的方法; 4) Hermit OWL 推理机, 可进行自动分类; 5) 基于 RDFlib 模块的 SPARQL 引擎。Owlready 将本体导入数据库中, 动态加载本体中定义的实体并将其封装在 Python 的对象中, 引入与本体相关的 Python 源文件后, 启动推理机。在操作 OWL 文件时, Owlready 提供统一的编程接口, 可以在 OWL 文件中混合使用编程语句。通过制定语义规则, 实现矿山人员不安全行为判识, 在行为识别结果及应用模块中实现实时报警。将数据驱动方法与知识驱动方法相结合, 并通过编程实现矿山人员不安全行为判识。

## 6 结束语

针对目前矿山人员不安全行为引发安全事故的问题, 本文首先提出了一种基于本体的矿山人员状态信息描述方法, 然后提出了一种结合数据驱动方法和知识驱动方法的矿山人员不安全行为识别框架。以人员的情境感知为基础, 运用机器学习等方法对多源数据进行处理, 获取情境要素, 运用语义本体的方法对人员行为、情境要素及其之间的关系进行描述, 构建矿山人员行为模型, 监测矿山人员行为, 推理判识其不安全行为, 提高矿山智能化安全防控水平。

基于语义本体的矿山人员状态信息感知描述方法的提出, 在以知识表示与推理为研究热点的人工智能研究与矿山物联网领域应用研究之间搭起了一座桥梁。矿山人员不安全行为识别框架的提出, 是实现矿山物联网智能化安全防控的探索之路。

物联网和人工智能的不断发展, 将助力智慧矿山的建设。新颖传感器的出现和网络技术的发展, 极大地提升了矿山物联网感知层的感知能力和网络层的传输能力。同时, 机器学习方法、知识表示和推理等人工智能的发展, 必将给应用层的创新发展带来重大影响。智能化矿山决策与服务系统, 为矿山地上人员、地下不同专业种类的人员提供各自所需的信息和服务, 实现了矿山物联网安全防控、公共服务平台的建设理念。

## 参考文献:

- [1] AGARWAL R, FERNANDEZ D G, ELSALEH T, et al. Unified IoT ontology to enable interoperability and federation of testbeds[C]//3rd IEEE World Forum on Internet of Things(WF-IoT), December 12-14, 2016, Reston, USA. Piscataway: IEEE Press, 2016:70-75.
- [2] THULUVA A S, ANICIC D, RUDOLPH S. Semantic web of things for industry 4.0 in 2017 Doctoral Consortium, Challenge, Industry Track, Tutorials and Posters[C]//RuleML+RR 2017, July 11-15, 2017, London, UK. CEUR-WS, 2017.
- [3] OLAKOVI A, HADIALI M. Internet of things(IoT): a review of enabling technologies, challenges and open research issues[J]. Computer Networks, 2018(144):17-39.
- [4] HARDIN S. Tim Berners-Lee: the semantic web-web of machine-processable data[J]. Bulletin of the American Society for Information Science and Technology, 2005, 31(3):12-13.
- [5] JUAN Y E, LORCAN C, SIMON D, et al. Ontology-based models in pervasive computing systems[J]. The Knowledge Engineering Review, 2007, 22(4):315-347.
- [6] COMPTON M, BARNAGHI P, BERMUDEZ L, et al. The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group[J]. Journal of Web Semantics, 2012, 17(4):25-32.
- [7] 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.
- [8] XUE X, CHANG J K, LIU Z Z. Context-aware intelligent service system for coal mine industry[J]. Computers in Industry, 2014, 65(2):291-305.
- [9] 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, 21:577-582.
- [10] 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.
- [11] 任玉辉. 煤矿员工不安全行为影响因素分析及预控研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2014.  
REN Y H. Analysis and pre-control research on the influencing factors of unsafe behavior of coal mine employees[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2014.
- [12] 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.
- [13] WANG L, CAO Q, ZHOU L. Research on the influencing factors in coal mine production safety based on the combination of DEMATEL and ISM[J]. Safety Science, 2018, 103:51-61.
- [14] DUFF A R, ROBERTSON I T, PHILLIPS R A, et al. Improving safety by the modification of behaviour[J]. Construction Management and Economics, 1994, 12(1): 67-78.
- [15] GAYATHRI K S, EASWARAKUMAR K S, ELIAS S. Probabilistic ontology based activity recognition in smart homes using Markov Logic network[J]. Knowledge-Based Systems, 2017, 121:173-184.
- [16] WOZNOWSKI P, KALESKI D, OIKONOMOU G, et al. Classification and suitability of sensing technologies for activity recognition[J]. Computer Communications, 2016(89):34-50.
- [17] KUNZE K, LUKOWICZ P, JUNKER H, et al. Where am I: recognizing on-body positions of wearable sensors[C]//Location and Context-Awareness, May, 2005. Berlin: Springer, 2005:264-275.
- [18] RIBONI D, BETTINI C. COSAR: hybrid reasoning for context-aware activity recognition[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2011, 15(3):271-289.
- [19] DEY A K. Understanding and using context[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2001, 5(1):1-10.

tous Computing, 2001, 5(1):4-7.

- [20] CAO Y, KLAMMA R, HOU M, et al. Follow me, follow you—spatiotemporal community context modeling and adaptation for mobile information systems[C]//The Ninth International Conference on Mobile Data Management (MDM 2008), April 27-30, 2008, Beijing, China. Piscataway: IEEE Press, 2008.
- [21] MOORE P, HU B, ZHU X, et al. A survey of context modeling for pervasive cooperative learning[C]//2007 First IEEE International Symposium on Information Technologies and Applications in Education, November 23-25, 2007, Kunming, China. Piscataway: IEEE Press, 2007:1-6.
- [22] GRUBER T R. A translation approach to portable ontology specifications[J]. Knowledge Acquisition, 1993, 5(2): 199-220.
- [23] LAMY J. Owlready: ontology-oriented programming in python with automatic classification and high level constructs for biomedical ontologies[J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2017(80):11-28.

[作者简介]



冯仕民 (1983-), 男, 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、人工智能等。



刘忠育 (1985-), 男, 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、3D 场景语义理解。



俞 隼 (1989-), 男, 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, 博士, 中国矿业大学助理研究员, 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, 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、数据挖掘等。



丁恩杰 (1962-), 男, 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、矿山物联网等。

# 物联网学报

Chinese Journal on Internet of Things



2018年12月30日出版

定价：60.00元

ISSN 2096-3750



9 772096 375188