



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

“互联网 + 应急环境”的室内火灾应急响应模式

唐明伟^{1,2} 张渭¹ 秦宇豪¹ 余定方³ 张东³

1. 南京审计大学计算机学院 南京 211815;
2. 江苏省数据工程与知识服务重点实验室 南京 210023;
3. 南京国睿信维软件有限公司 南京 210001

摘要: [目的/意义] 构建“互联网 + 应急环境”的室内火灾应急响应模式,提高室内火灾应急响应效率。[方法/过程] 从技术角度对“互联网 +”的理念进行了深度剖析,创建了“互联网 +”跨界融合技术实现框架。应用该框架,从应急环境与应急部门的联动机制、突发室内火灾事件的大数据集成、基于改进 Zukoski 室内火灾预警模型构建、基于知识推理的火灾应急响应方法等方面,构建了“互联网 + 应急环境”的室内火灾应急响应模式。应用该模式,使用 CC2530 物联网开发套件、Neo4j 知识图谱工具以及 Java EE 技术,开发了基于多传感器的突发火灾预警仿真系统,并通过在室内环境燃烧纸条模拟火灾的方式进行了实验。[局限] 实验仅在模拟环境下进行,在进入实际应用前,还需要进行大量的、更为真实的实验。[结果/结论] 实验结果表明,本文构建的室内火灾应急响应模式行之有效。

关键词: 火灾应急; 突发事件; “互联网 +”

中图分类号: G203

The Emergency Decision Mode for Indoor Fire Disaster Based on the “Internet Plus Emergency Environment”

TANG Mingwei^{1,2} ZHANG Wei¹ QIN Yuhao¹ YU Dingfang³ ZHANG Dong³

1. School of Computer Science, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China;
2. Jiangsu Key Laboratory of Data Engineering and Knowledge Service, Nanjing 210023, China;
3. Nanjing Guorui Xinwei Software Co., LTD., Nanjing 210012, China

Abstract: [Objective/Significance] Construct an emergency response mode for the indoor fire based on the “Internet Plus Emergency Environment” to improve the efficiency of emergency response for the indoor fire disaster. [Methods/Processes] This paper unravels the “Internet Plus” idea technically, creates the technology implementation architecture of “Internet Plus” cross-

基金项目 教育部人文社会科学研究规划基金项目“面向情景推演的突发事件应急预案知识组织研究”(23YJA870009);江苏高校哲学社会科学研究重大项目“面向应急决策的突发事件应急预案知识推理研究”(2021SJJZDA153);江苏高校“青蓝工程”。

作者简介 唐明伟(1982-),博士,副教授,主要研究方向为智能信息处理;张渭(2000-),硕士研究生,主要研究方向为知识图谱、数据挖掘, E-mail: 2213160043@qq.com;秦宇豪(1999-),硕士研究生,主要研究方向为深度学习应用研究;余定方(1977-),硕士,高级工程师,主要研究方向为物联网应用研究;张东(1982-),学士,高级工程师,主要研究方向为大数据应用研究。

引用格式 唐明伟,张渭,秦宇豪,等.“互联网 + 应急环境”的室内火灾应急响应模式[J].情报工程,2024,10(2):38-51.

border integration. By applying the architecture, the fundamental mechanism of the emergency decision mode for indoor fire disaster based on the “Internet Plus Emergency Environment” is investigated from four aspects which respectively are the linkage mechanism between emergency environment and department, the big data integration for the sudden indoor fire disaster, the improved Zukoski-based indoor fire detection model, the fire emergency response method based on the knowledge reasoning and so on. Based on the mode, a fire warning emulated system based on the multiple sensors for the emergency fire was developed by using the CC2530 development toolkits of Internet of Things, Neo4j knowledge graph tool and Java EE technologies. And a fire emulation experiment was conducted by burning pieces of paper indoor. [Limitations] The experiment was conducted in a simulated environment. Before practical application, abundant and more real experiments are needed. [Results/Conclusions] The experiment result shows the constructed emergency decision mode is effective.

Keywords: Fire Disaster Response; Emergency; “Internet Plus”

引言

2022年初,我国应急管理部消防救援局公布,2021年共接报火灾74.8万起,死亡1987人,受伤2225人,直接经济损失高达9.69亿美元。与2020年相比,火灾数量、伤亡人数和损失分别上升9.7%、24.1%和28.4%。而2022年10月29日上午10点左右,南京市鼓楼区建宁路2号金盛百货商场发生火灾,虽未造成人员伤亡,但保守估计此次火灾造成各类经济损失高达12亿人民币。这些事故触目惊心,为人民生活造成了巨大损失和威胁。自2005年国务院发布实施《国家突发公共事件总体应急预案》以来,我国应急管理工作已经取得了一定的成果,目前已初步建成国家应急平台体系,突发事件防范水平、应急救援保障能力已得到了显著提升。然而由于用火不慎,或者因为管理者安全意识淡薄,物防缺位,火灾事故始终防不胜防。

而“互联网+”理念的提出,则为解决这一问题提出了新的思路。应用“互联网+”理念,通过物联网、大数据和人工智能等技术,可以将现实世界中的事物实体接入至互联网中,实现跨“网络—现实”两个世界进行资源整合,达到线

上线下资源联动,共同解决实际问题的目的。在这一思路下,本文以“互联网+”跨界融合为主导思想,提出了一种“互联网+应急环境”的室内火灾应急响应模式。该模式结合主流信息技术,以室内火灾应急响应为目标,从室内火灾情报源构建、情报采集、情报组织和情报分析等角度,构建一种室内火灾应急响应的新方法。

1 相关研究述评

本文的主要研究对象本质上可以分解成“互联网+”理念的应用研究以及“互联网+”时代下的室内火灾应急响应研究两个核心问题。

1.1 “互联网+”理念指导下的应用研究

“互联网+”一词由我国易观国际集团董事长于扬^[1]于2012年11月在第五届移动互联网博览会上首次提出。2014年11月,国务院前总理李克强^[2]在首届世界互联网大会上,又将“互联网+”作为政府工作报告的重要主题。经过七年的发展,已基本确定了以跨界融合为指导思想的“互联网+行业”的应用模式^[3]。而关于“互联网+”的研究也主要围绕这一模式展开。

目前相关研究主要集中在国内。“互联网+”理论拓展研究是较早的研究方向之一。李立睿等^[4-5]等研究了“互联网+”背景下的科学数据生态、科学数据共享以及数据融合模式。张黎等^[6]从挑战、机遇和动力三个维度论述了“互联网+”思维对情报学产生的变革。卢艺丰等^[7]结合“互联网+”时代数据、信息、知识和智慧之间的变化关系,重构了信息链模型。在这些研究基础上,“互联网+”行业扩展研究逐渐问世。企业经营是“互联网+”应用的主要方向之一。阮荣平等^[8]从信息获取和信息需求角度,分析了“互联网+”背景下我国目前新型农业经营主体的信息化发展状况和问题,并提出了对策。苏郁峰等^[9]利用“互联网+”环境为企业提供的新的资源基础,对互联网初创企业运用制度创业策略获得合法性的方法进行了论证。随后,“互联网+”在教育领域的研究也逐渐丰富起来。邢西深等^[10]研究了“互联网+”时代在线教育发展的新思路。陈竞飞^[11]探讨了“互联网+”实现线上线下混合式教学的实践方法。随着研究的进一步展开,“互联网+”理念被引入至突发事件应急管理中。唐明伟等^[12]构建了基于“互联网+”的突发事件快速响应系统。贺军等^[13]探讨了“互联网+”时代突发事件中政务信息公开存在的机遇和挑战。张瑞利等^[14]探讨了互联网与社区应急管理的匹配性,提出了构建全方位、全流程的“互联网+”社区管理平台。孙峰等^[15]指出了“互联网+”在应急预警中的重要作用,并以此构建了中国特色的应急管理吹哨模型。雷方琴^[16]则研究了“互联网+”时代应急管理机构档案管理的新方法。可见,“互联网+”应用研究

已经从理论和实践等多个方面展开。

1.2 “互联网+”时代技术驱动的室内火灾应急响应研究

室内火灾应急响应是对室内火灾情报进行分析并给出处理方案的过程。这一过程从情报视角,又可以细分为火灾情报采集、情报组织和分析等子过程。而在“互联网+”时代,这些过程借助物联网、人工智能及大数据等技术,使得应急响应的方法、过程甚至效果都产生了巨大的变化。因此新时代针对室内火灾应急响应研究也随之丰富起来。

物联网和无线传感技术是火灾应急研究的常用手段。Lee等^[17]设计了一种针对火灾的物联网系统,以此为消防员提供实时火灾状态。黄俊斌等^[18]使用物联网技术进行环境数据的采集,并与标准数据进行对比,引入到火灾动态评估模型中,以动态反映火灾演化状况。Peng等^[19]提出了基于物联网的城市火灾应急管理。基于建筑信息模型(BIM)和虚拟现实技术(VR)进行火灾应急模拟,是火灾应急研究的另一个方向。Lu等^[20]提出了基于BIM和VR的室内或震后火灾救援场景的模拟框架,用于预测火灾造成的影响。钟炜等^[21]采用BIM技术构建参数化信息模型,该模型优化整合疏散路径,从而提高逃生出口使用率。Chen等^[22]构建了基于建筑信息模型的动态寻路、位置追踪系统,可为火灾场景动态规划路线,从而在疏散过程中快速找到通往出口的最佳路线。Cao等^[23]提出了基于BIM的动态火灾隐患综合疏散模型,该模型可用于评估辐射、温度、有毒气体、能见度对疏散的影响。近年来,知识组织、机器

学习和深度学习等前沿技术被引入至火灾应急中。王芳等^[24]构建了面向火灾应急管理的本体模型。Pincott等^[25]开发了基于卷积神经网络的室内火灾和烟雾检测系统，可以检测火灾发生的确切位置。Khan等^[26]构建了火灾事件库和火灾行动框架，结合人工智能模型可以快速定位火灾位置并实时监控火灾事态的情况。倪凌佳等^[27]针对多智能体环境提出了协作式双深度Q网络算法，建立随时间动态变化的火灾场景模型，为人员疏散提供实时的危险区域分布信息。刘永立等^[28]通过知识图谱技术建立了数据和流程动态注入的多部门应急处置预案模型，实现了跨部门多主体高效的动态协同应急处置方法。Liu等^[29]提出一种基于贝叶斯估计的多烟雾报警器火灾报警判断方法。可见，“互联网+”时代，室内火灾应急的方法呈多样化。

1.3 研究述评

从现有研究可知，关于“互联网+行业”的相关研究已经全面展开，但在火灾应急领域，

直接冠以“互联网+”的相关研究则较为少见。然而从现有室内火灾应急研究方法来看，其使用的大数据、物联网、知识组织和人工智能等技术和方法，已经是“互联网+”时代的主流技术和方法手段，应该说“互联网+”理念在室内火灾应急领域已颇具基础。本文的研究即在现有基础上，深度融入“互联网+”理念，整合现有研究成果，提出“互联网+应急环境”的室内火灾应急理念，以创造一种新型的突发事件室内火灾应急响应模式。

2 “互联网+”的技术理念解析

马化腾等^[30]在其专著中总结了“互联网+”理念的六大特征：“跨界融合”“重塑结构”“创新驱动”“开放生态”“连接一切”和“尊重人性”。本文认为“跨界融合”是“互联网+”的基本理念和最终目的，而其他五个特征则可以视为实现“跨界融合”的基本步骤，它们之间的应用关系如图1所示。

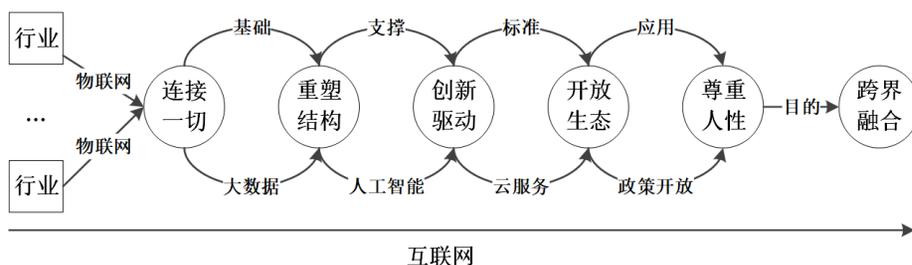


图1 “互联网+”理念特征的应用关系

这一关系也基本体现了数据的采集、集成、组织、分析和利用的主要过程，依次实现这些过程，理论上即可实现跨界融合。根据这一思路，结合当前时代的技术特点，本文构建了如图2所示的“互联网+”跨界融合技术实现框架。

这一框架体现的是如何应用主流技术来构建一个“互联网+”的应用生态，具体的实现方法如下。

(1) “连接一切”的实现

“连接一切”主要是将线下的实体或业务对象，通过互联网建立起互联互通的关系。这



图2 “互联网+”跨界融合技术实现框架

是实现“互联网+”的基础。目前来说，有线宽带和智能手机的网络接入方式已经很常见。但这两种方式通常是获取服务，而非提供服务。而基于无线传感器的物联网，可以采集相关对象的属性参数，并通过互联网提供远程访问。这种方式可以真正将线下的实体对象，接入至互联网中，是“连接一切”的重要实现技术。

（2）“重塑结构”的实现

“重塑结构”是指对“连接一切”采集过来的各类业务数据，进行数据的预处理和组织工作，包括异构数据的清洗、转换、标注、集成和标准化。而组织方式则取决于创新驱动的目的。在数据大爆炸的当前时代，这些数据必定是海量的，因此所有这些工作均需要使用大数据方法进行。

（3）“创新驱动”的实现

“创新驱动”是“互联网+”的核心工作，是在集成数据的基础上，对数据进行利用和再创新，根据业务的创新目标，对业务进行深度解析和场景匹配，以创建一种高效或者全新的应用模式。而对于大数据的利用，基于深度学习的人工智能方法已成为首选方法。基于人工智能方法的特征提取、实体识别、知识推理等功能，可从现有数据中挖掘出更深层次的内容，从而有助于实现“创新驱动”。

（4）“开放生态”的实现

“开放生态”是指将“创新驱动”中实现的功能，以手机App、网站、云服务等多种方式，根据不同的权限，开放给最终用户使用。这一工作是“互联网+”的应用接口，通过不同的

应用程序，将创新服务提供给用户使用，再通过用户的使用数据，不断更新和调整服务，形成完整的应用生态。

(5) “尊重人性”的实现

“尊重人性”体现在“开放生态”后提供人性化的创新服务，这一点的实现更多的是在国家法律法规大框架下，制定一些贴近用户使用习惯，便于使用以及具有人文关怀的管理政策，以使得生态应用更人性化。

3 基于“互联网+”理念的室内火灾应急响应模式

3.1 “连接一切”的火灾应急环境与应急部门的联动机制

突发室内火灾应急响应的首要前提在于快速、全面、准确地掌握室内火灾的情报。若能通过技术手段，使应急部门能够通过互联网，与事发环境建立起联动关系，那么必然能提高室内火灾应急响应工作的效率。这种线下线上互动的模式，正是“互联网+”跨界融合理念的精髓所在。而在“互联网+”技术实现框架“连

接一切”的关键技术中，基于无线传感器的物联网，能够采集事发环境的各种数据，这些数据虽然只是单纯的电讯号，但却是对环境的客观描述。如烟雾传感器可以检测 SQ2、CO2 等气体的浓度，温湿度传感器又可以检测环境的温湿度、智能摄像头可以通过识别可疑特征来检测危险物品等。这些传感器的应用，再结合相应的算法，就可以实现对环境的智能监控。因此，在需要重点关注的现实环境中部署物联网，采集环境数据至应急部门中，即可建立起应急响应工作与客观环境的直接关系，满足应急响应分析的需求。根据这一理念，本文构建了图 3 所示的应急环境与应急部门的联动机制框架。

在这一采集机制中，传感器和智能摄像头对应传感器采集，是应急环境与应急部门联动机制的重要组成部分。而对于采集到的数据，根据时间和空间特征进行封装、关联和集成等协同处理^[31]，即得到突发火灾的情报集合。通过这一方法，应急部门以传感器为纽带，建立起与应急环境的联动联系，形成“互联网+应急环境”的应用关系。

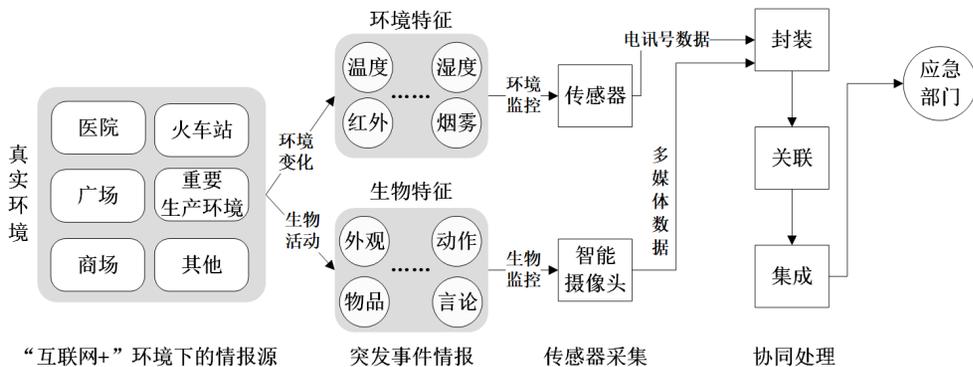


图 3 应急环境与应急部门的联动机制

3.2 “重塑结构”的火灾情报大数据集成

上述联动机制解决的是火灾情报采集的信

息连通问题，而突发火灾的发生必然是伴随着海量的事件数据，同时还必须处理大量异构、

实时的数据。因此如何集成这些数据，并统一结构，为情报分析所用，是进行火灾应急的另一个重要前提，这一步正是“重塑结构”特征的体现。

突发事件的大数据集成，主要解决海量突发事件情报的存储和利用问题。本文采取非关系型数据库（NoSQL）来解决这一问题。非关系型数据库没有行、字段和关系的概念，它是一种弱结构化的数据集合。以 HBase 为例，HBase 是按列存储的非关系型数据库，其存储的列并不是事先设计好的，而是以 {键:值} 对的方式动态插入，其中键用来定位和取值，值是真正的内容。本文设计的方法中，突发事件情报来源于多个场景的多种传感器，其结构并不统一，比较适合使用这种方式来存储。这无数个键值对，就等于创建了一个具有多个索引的稀疏矩阵，不再局限于结构和值的类型，这一机制大大降低了数据集成后因量大存在的存储困难。提取其中存储的数据时，也不再像传统的关系型数据库使用 SQL 语句进行数据提取，而是根据索引直接进行数据的读取。而且非关系型数据库通常采用分布式管理方式，这就极大地提高了存储的容量和效率，可以高效地处理海量并发数据的场景。

在解决了大容量数据的采集和存储后，再构建集成中间件，即可实现突发火灾情报的大数据集成，其架构如图 4 所示。

如图 4 所示，整个架构从底向上分为突发火灾情报源、采集终端、集成中间件和情报应用，其中集成中间件是实现集成的关键，中间件对下采集突发事件情报，对上则提供对情报的访

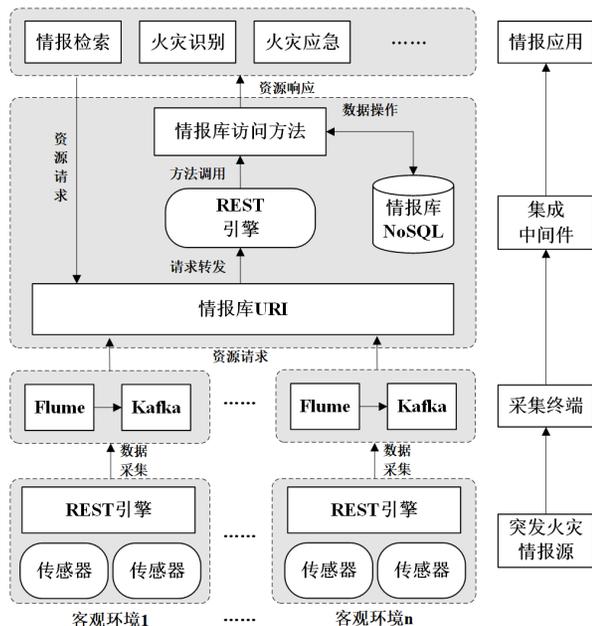


图 4 突发火灾情报大数据集成架构

问接口。各部分具体职能如下：

(1) 突发火灾情报源：主要是部署了传感器的客观环境，为了便于数据传输，此处采用 REST^[32] 作为数据传输的基本机制。

(2) 采集终端：完成对环境数据的采集，此处均使用 Flume 和 Kafka 的大数据应用集合，可以高效完成火灾情报采集。对于采集后的数据则需要通过访问对应的资源 URI，以 POST 方式发送请求。

(3) 集成中间件：该层由 NoSQL 结构的情报库、情报库访问方法、情报库 URI、REST 引擎和四个主要组件构成。其中情报库即存储的突发火灾情报。情报库访问方法则是针对 NoSQL 数据库的基本操作，主要是数据的增加，修改、删除和查询，其操作方法是通过对 NoSQL 数据库的专用方法组成，一般需要通过支持该数据库的程序语言根据 API 编写对应方法来实现。情报库 URI 则是情报库中经过资源封装后的情报，每条情报记录均会有一个唯一

标识 URI。但是在大数据环境下，注重的是数据整体的分析和操作，因此情报库 URI 还需要包括一些集合性的资源，如某时间内的情报集合、某地点范围内的情报集合和某事件类型的情报集合。不同的资源或集合，均有各自唯一的 URI，要访问这些资源或集合，向该 URI 发送请求即可。REST 引擎是情报库和情报库 URI 的请求中转桥梁，负责判断终端和用户提交的数据请求是哪种类型，根据不同的类型来调用响应的方法，执行不同的资源操作。

(4) 情报应用：该层既提供访问情报库的方法，对最终用户即应急人员开放。用户层面的应用主要是对情报库中的数据进行分析和利用，根据不同的需要展开情报检索、火灾识别和火灾应急等决策支持工作。

从各层职能来看，应用该框架，可以构建一个支持海量数据采集、存储和访问的突发火灾情报实时集成平台，从而为突发火灾应急奠定基础。

3.3 “创新驱动”的火灾应急响应方法

前述两个方法，解决的是火灾情报的采集和存储问题。但要进行火灾的识别及快速响应，除准确及时的火灾情报外，丰富的火灾应急知识支撑是进行有效火灾应急响应的关键。这也是最需要进行创新变革的部分。为此，本文在火灾情报基础上，引入了 Zukoski 火灾模型^[33]用于识别火灾。在识别到火灾发生的基础上，又引入知识图谱，从特征对比角度，对新发生火灾事件进行知识推理，获得与新火灾事件具有相似特征的应急响应方法。

(1) 改进的 Zukoski 室内火灾预警模型

Zukoski 模型由 Zukoski 等人于 1983 年提出。其基本原理为：室内火灾发生会造成热烟气的上升，当热烟气上升到一定程度时，房间空气便分为上层热烟气和下层冷空气，Zukoski 等根据对正常和火灾时各种环境数据的分析，创建了 Zukoski 火灾模型，如式 (1) 所示。

$$Z = [0.075(\frac{g\alpha T_0}{A^3})^{\frac{2}{3}}t^{\frac{5}{3}} + H^{-\frac{2}{3}}]^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

其中， g 为重力加速度， H 为房间高度， α 为火源功率增长因子， A 为室内的平面面积， t 为从着火到计算时的间隔时间， T_0 为所处环境的温度， Z 为热烟气层底部高度。

火灾发生基本遵循如下规律：火灾刚发生之初，烟雾浓度迅速上升到峰值；火灾源充分燃烧后，温度会一直上升，但烟雾浓度却会稍有下降；随着燃烧继续，烟雾浓度则会继续上升。而这一过程中，湿度基本是逐渐下降。因此本文根据烟雾密度、温度、湿度之间的内在关联，引入了烟雾浓度和湿度因子对该模型进行了简单改进，如式 (2) 所示。

$$Z = [0.075(\frac{g\alpha\rho_0 T_0^2}{D_0 A^3})^{\frac{1}{3}}t^{\frac{5}{3}} + H^{-\frac{2}{3}}]^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

其中， ρ_0 为气体的浓度， D_0 为湿度。

根据这一模型，只要能通过传感器采集到各类参数值，即可计算出火灾的 Z 值，再通过多次实验来确定火灾发生的阈值即可投入实际应用中。在实际环境中，无线传感器源源不断地采集环境数据至火灾情报大数据中心，再应用该模型实时计算 Z 值，当 Z 值超过实验所得阈值时，则判定发生火灾，即识别到火灾。

(2) 基于知识推理的火灾应急响应方法

火灾应急响应是识别到火灾后进行的应急工作。很显然，这一工作若有案例支持，那必

能事半功倍。火灾案例一般包括火灾原因、发展过程、处理方法和处理结果等重要信息。若能将这些信息构建成知识图谱的方式,再利用

知识图谱,从特征对比角度对新发生火灾事件进行知识推理,即可获得与新事件具有相似特征的火灾应急响应方法,其实现架构如图5所示。

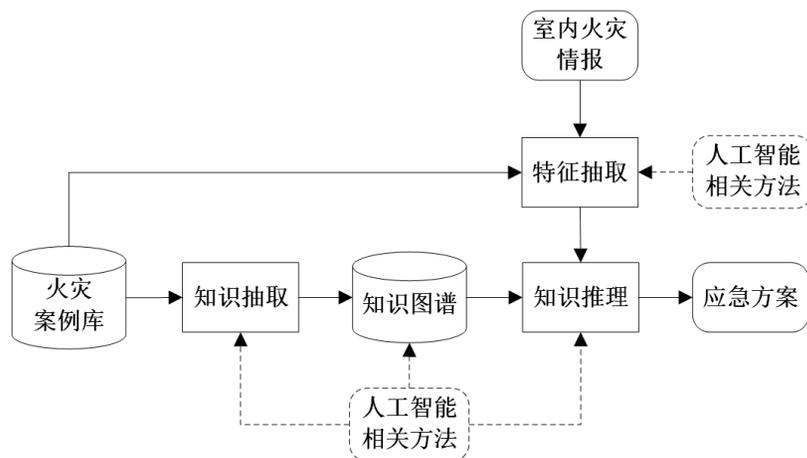


图5 基于案例知识推理的室内火灾应急响应方法

如图5所示,信息抽取是室内火灾应急响应方法的关键步骤。一方面对收集的火灾案例进行知识抽取,形成了以“<实体—关系—实体>”为形式的三元组实体关系属性集合,以此构建室内火灾案例知识图谱。另一方面,对火灾情报和案例进行特征抽取,分别形成各自的特征向量,通过比较向量相似度,以此作为推理依据,来得到与当前事件具有相似特征的火灾案例的应急响应方法,从而实现智能化的火灾应急响应。

3.4 “开放生态”的火灾应急访问方法

前述“互联网+”三个特征的实现,是进行火灾应急的重要实现逻辑。若要能够方便地访问这些逻辑,则还需要将其封装成计算软件服务,并开发相应的微信小程序端、手机APP端、PC端和Web端等多种应用形式,从而形成室内火灾应急服务的“开放生态”。当然,这一工作需要由政府主导,形成明确的文件规定,要求相关楼栋的安保部门安装火灾应急应用,

尤其是对于火灾应急的责任人和一线工作人员,强制安装室内火灾应急的手机端,这样他们可以实时查看重点监控场合。在发生火灾时,手机app也能及时预警并实时推送火灾状况,同时也给出应急决策的方案建议,起到室内火灾应急决策辅助的作用。

3.5 “尊重人性”的应用支撑

“开放生态”驱动下的应急访问方法,解决的是火灾应急服务的访问方法。而“尊重人性”则是从人文关怀方面,提升应用操作上的便捷性,如不断优化应用打开和加载的速率、优化火灾预警的推送方式,使其能够更优化地提供提醒和预警服务。同时,不断完善火灾应急应用的功能,构建各类室内火灾应急案例库供平时学习参考,提供诸如推送针对不同火灾场景的特殊注意事项和需要额外准备的物资等内容。这是一项长期性的工作,需要在实践过程中根据用户反馈不断地进行补充更新,以使得这一

模式下的火灾应急响应应用能够持续不断地增强和改进功能，从而为应急人员提供更为优质的服务。

4 实验分析

为验证这一模式的有效性，本文构建了一个基于多传感器的突发室内火灾预警系统。需要说明的是，该例是由作者自行搭建的针对室内火灾预警的仿真系统，并不是真实的火灾事件。本例的重点是展示通过传感器采集环境数据，应用改进的 Zukoski 模型识别室内火灾，

再通过知识图谱推理得到火灾应急响应初步方案的整体流程。

4.1 室内火灾预警知识图谱的构建

知识图谱由诸多以“<实体—关系—实体>”为形式的三元组构成，这些三元组是对现实世界知识的格式化描述。通过这种结构，可以组成庞大且便于知识传递和推导的知识网络。知识图谱三元组来源于普通的知识文本，是对文本的结构化提取。本文根据改进 Zukoski 模型以及常规火灾应急知识，构建了如图 6 所示的室内火灾应急知识图谱片段。

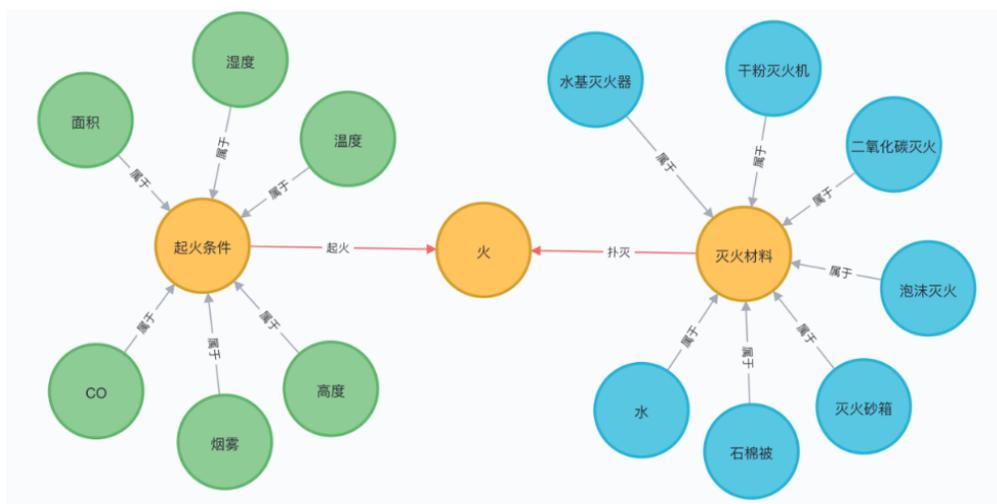


图 6 室内火灾应急知识图谱片段

这一片段描述了起火条件和灭火材料，也同样包含了灭火的方法。该片段将加载至室内火灾预警系统中，系统将读取起火条件，并将实际的环境数值代入，以此来判断监控环境中是否有火情。监控到有火情后，又可以直接定位到灭火材料，从而做出火灾预警及应急决策。

4.2 起火条件的物联网采集

根据上述片段，面积和高度在同一个环境

中是固定的。因此，温度、湿度、烟雾和 CO 气体浓度数据是本实验需要采集的对象。作者团队在经过比较后，购置了美国德州仪器研发的 CC2530 物联网开发套件，套件包含了开发板、协调器、上位机核心程序及开发包、DHT11 温湿度传感器、MQ-2 环境气体浓度传感器等本实验所需要的核心部件，其部署如图 7 所示。

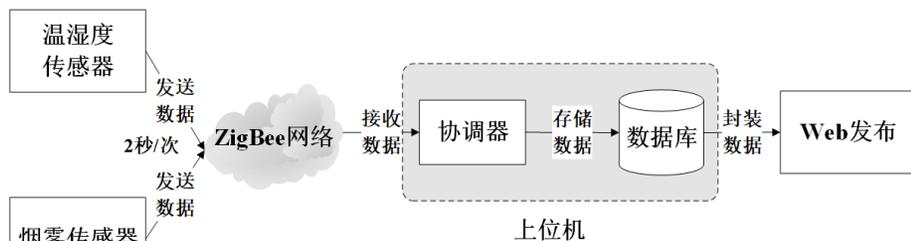


图7 起火条件的物联网采集部署

如图7所示,作者团队先在实验室内安装了温湿度传感器和烟雾传感器,这两个传感器插在同一个终端芯片板上,独立供电。其中,DHT11温湿度传感器每隔2秒自行采集周围环境温度数据和湿度数据,MQ-2传感器每隔2秒自行采集周围环境烟雾气体浓度数据。两个传感器只要通电就可以采集数据,并以ZigBee协议在ZigBee局域网内共享数据。接着,将协调器连接至实验用计算机的USB端口上,连接成功后,用开发套件提供的、与协调器配套的数据读取程序,读取传感器发送过来的数据,将其存入数据库中,再将数据库中的数据进行封装,再通过互联网对外开放,即可实现通过互联网访问传感器的数据。其中,协调器和数据库所在实验用计算机即整个物联网部署的上位机。在这种部署架构下,传感器和实验用计算机在物理上是隔绝的,数据先从传感器通过ZigBee协议采集至实验用计算机,再通过计算机向互联网传输,在权限允许的条件下,理论上不论在何处,只要能接入互联网就可以访问到传感器的数据,这就为进一步的数据分析奠定了基础。

4.3 室内火灾预警系统的实现

根据上述模型和开发套件,我们开发了面向物联网的多传感器火灾报警系统。系统主要使用Java Web技术开发,总体架构如图8所示。

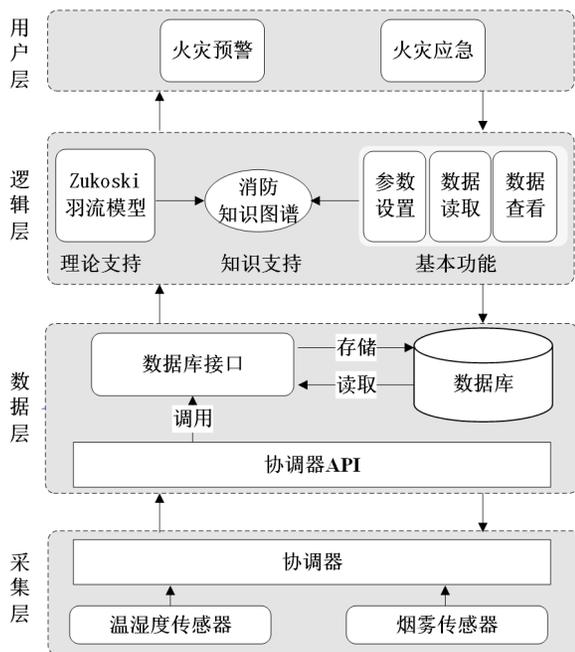


图8 室内火灾预警系统总体架构

(1) 采集层

采集层即部署的无线传感器和协调器,部署完成后,若想在程序中读取其数据,则还需要开发包的安装以及二次开发。

(2) 数据层

数据层则通过协调器API读取传感器的数据,将其存入数据库中,并向功能层提供数据调取的功能。而协调器API的调用,则有一套特殊的流程。首先在实验用计算机上安装ZigBee协议栈,接着用仿真器下载发送函数代码,再用USB线、仿真器连接电脑和协调器,下载接收函数代码。在运行过程中,传感器首先初

始化工作,包括对传感器和执行任务的初始化,然后初始化操作系统,该函数将不断读取传感器的数据。在读取的过程中,又通过数据库接口直接存入数据库中。

(3) 逻辑层

逻辑层即火灾预警的底层逻辑,由理论支持、知识支持和基本功能组成。理论支持即改进 Zukoski 火灾模型,该模型通过 Java 语言封装成系统的一个内嵌功能。通过调用该功能模块的方式来实现模型的应用。知识支持即火灾应急知识图谱的应用,该知识图谱根据火灾模型的参数及逻辑而创建,同时又加入了灭火方式,也是起火条件物联网采集的数据参照。基本功能则面向用户,主要有参数设置、数据读取和数据查看。其中参数设置即对改进 Zukoski

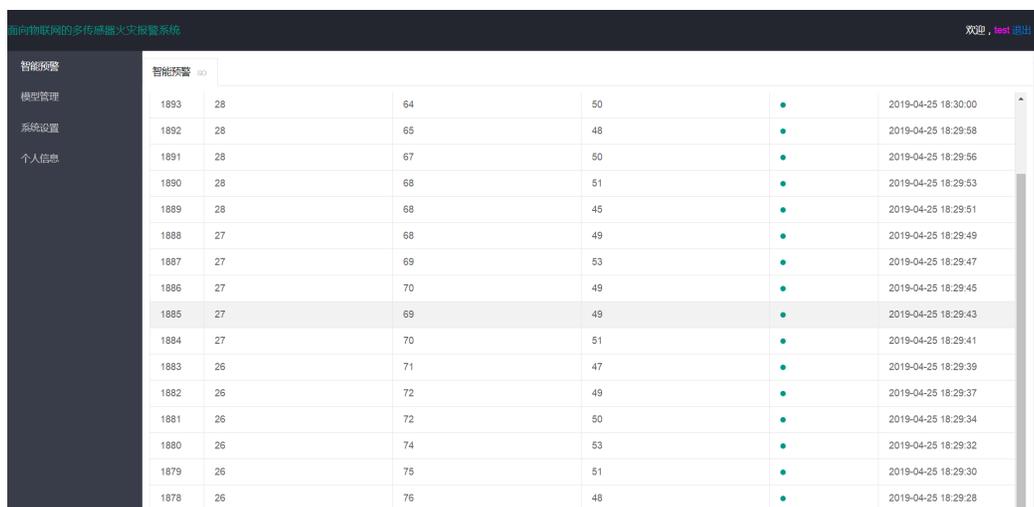
模型参数的调整,以增加模型在特定环境中的有效性。数据读取即调用传感器的数据。数据查看则直接供用户查看从传感器中调用的温度和烟雾浓度数据。火灾预警则根据模型和数据计算阈值,超过阈值则预警。

(4) 用户层

用户层面向最终用户,显示预警和应急结果。该系统全自动方式运行,系统启动后,将自动采集物联网数据,实时监控对应的环境,一旦采集的数据经过计算满足起火条件后,将触发预警。

4.4 实验结果

系统按照上述功能开发完成后,主要功能的运行界面如图 9 所示。



ID	温度	烟雾	时间	
1893	28	64	50	2019-04-25 18:30:00
1892	28	65	48	2019-04-25 18:29:58
1891	28	67	50	2019-04-25 18:29:56
1890	28	68	51	2019-04-25 18:29:53
1889	28	68	45	2019-04-25 18:29:51
1888	27	68	49	2019-04-25 18:29:49
1887	27	69	53	2019-04-25 18:29:47
1886	27	70	49	2019-04-25 18:29:45
1885	27	69	49	2019-04-25 18:29:43
1884	27	70	51	2019-04-25 18:29:41
1883	26	71	47	2019-04-25 18:29:39
1882	26	72	49	2019-04-25 18:29:37
1881	26	72	50	2019-04-25 18:29:34
1880	26	74	53	2019-04-25 18:29:32
1879	26	75	51	2019-04-25 18:29:30
1878	26	76	48	2019-04-25 18:29:28

图 9 面向物联网的火灾预警系统主界面

如图 9 所示,系统只要成功运行,就会按照 2 秒一次的频率,持续读取并显示传感器的数据,并根据模型的参数设置,调用改进 Zukoski 模型自动计算预警模型的阈值。而当出现某条记录模型计算值超过阈值时,该记录所在行将以红色背景显示,并且播放报警声音。作

者团队在传感器附近燃烧了小纸片,系统按照预期进行了预警,如图 10 所示。

与此同时,在系统后台也返回了相应的火灾应急知识的三元组片段。从运行结果来看,整个信息流程是符合预期的,能够达到采集、分析、预警和应急的作用。

ID	温度	湿度	浓度	预警状态	创建时间
1894	28	63	46	●	2019-04-25 18:30:02
1893	28	64	50	●	2019-04-25 18:30:00
1892	28	65	48	●	2019-04-25 18:29:58
1891	28	67	50	●	2019-04-25 18:29:56
1890	28	68	51	●	2019-04-25 18:29:53
1889	28	68	45	●	2019-04-25 18:29:51
1888	27	68	49	●	2019-04-25 18:29:49
1887	27	69	53	●	2019-04-25 18:29:47
1886	27	70	49	●	2019-04-25 18:29:45
1885	27	69	49	●	2019-04-25 18:29:43
1884	27	70	51	●	2019-04-25 18:29:41
1883	26	71	47	●	2019-04-25 18:29:39
1882	26	72	49	●	2019-04-25 18:29:37
1881	26	72	50	●	2019-04-25 18:29:34

图 10 系统预警功能

4.5 结果分析

本实验过程基本涵盖了所构建室内火灾应急响应模式的主要应用过程。应用基于传感器的物联网技术成功地将需要监控的环境，连接至互联网中，再通过知识图谱相关技术，对传感器数据进行了室内火灾预警的分析，从而为室内火灾应急提供决策支持。从实验过程可知，实验仅使用了改进 Zukoski 模型和燃烧小纸片的方式来实现室内火灾预警。虽然学术界已经提出了不少准确率较高的火灾预警模型^[34-35]，但这与本文的研究侧重不同，本文侧重的是基于改进 Zukoski 的室内火灾应急响应模型在“连接一切”“重塑结构”“创新驱动”“开放生态”和“尊重人性”五个特征上的实现方法及其可行性。实验结果也表明本文构建模型具有实用性并且可行。当然，要将方法应用至实际应急场合，一方面需要事先收集各类监控环境的面积、高度等基本参数。另一方面，还需要进一步完善应急知识图谱的建设，相对完整丰富的知识图谱对于各类室内火灾识别和预警模型能够起到较好的支撑作用，同样也可以为应急响应提供更为强大的辅助功能。

5 总结

本文应用“互联网+”理念，构建了一种“互联网+应急环境”的室内火灾应急响应模式，详细论证了“连接一切”“重塑结构”“创新驱动”“开放生态”和“尊重人性”五个“互联网+”特征的实现方法。特别在其中“创新驱动”的实现方法中，通过引入烟雾浓度和湿度，构建了一种基于烟雾浓度和湿度改进的 Zukoski 室内火灾检测模型。随后，基于该模式开发了一套基于多传感器的室内火灾预警仿真系统，并通过在室内环境燃烧纸条模拟火灾的方式，对所开发仿真系统进行了实验。实验结果表明，本文提出的“互联网+应急环境”的室内火灾应急响应模式行之有效。然而，本文的实验缺乏真实的火灾环境，所创建的知识图谱也不够全面。下一步，作者团队将继续完善火灾应急知识图谱，并开展更为真实全面的实验，来进一步完善提出方法的有效性。

参考文献

- [1] 腾讯科技. 于扬: 所有传统和服务应该被互联网改变 [EB/OL]. (2016-11-14)[2023-6-10]. <http://tech.qq.com/a/20121114/000080.htm>.
- [2] 央视网. 李克强同世界互联网大会中外代表座谈时强调: 促进互联网共享共治推动大众创业万众创新 [EB/OL]. (2014-11-22)[2023-6-10]. http://

- news.cntv.cn/2014/11/22/ARTI14166_51141591625.shtml.
- [3] 唐明伟, 柏菊. “互联网+”环境下课堂快速签到实证研究——以“分布式课堂签到系统”为例[J]. 中国信息技术教育, 2017(23): 89-95.
- [4] 李立睿, 邓仲华. “互联网+”视角下的科学数据生态系统研究[J]. 图书与情报, 2016(2): 66-71.
- [5] 李立睿, 邓仲华. “互联网+”背景下科研用户的小数据融合研究[J]. 图书情报工作, 2016, 60(6): 58-63.
- [6] 张黎, 郭敏, 刘国健. “互联网+”思维对情报学的变革[J]. 现代情报, 2018, 38(6): 28-31, 45.
- [7] 卢艺丰, 徐跃权. “互联网+”环境下信息链的重构——交互式信息链[J]. 情报科学, 2020, 38(6): 32-37.
- [8] 阮荣平, 周佩, 郑风田. “互联网+”背景下的新型农业经营主体信息化发展状况及对策建议[J]. 管理世界, 2017(7): 50-64.
- [9] 苏郁峰, 张延平, 周翔. 互联网初创企业制度拼凑与整合策略多案例研究[J]. 管理学报, 2019, 16(2): 168-170.
- [10] 邢西深, 李军. “互联网+”时代在线教育发展的新思路[J]. 中国电化教育, 2021(5): 57-62.
- [11] 陈竞飞. “互联网+”时代混合式教学在高等教育中的开展——评《混合式教学设计与实践》[J]. 科技管理研究, 2023, 43(1): 237.
- [12] 唐明伟, 蒋勋, 姚兴山. “互联网+”环境下面向公共安全的突发事件快速响应系统[J]. 情报科学, 2016, 34(11): 154-159.
- [13] 贺军, 蒋新辉. “互联网+”时代突发事件中的政府信息公开: 机遇、挑战与应对[J]. 秘书, 2018(3): 64-72.
- [14] 张瑞利, 丁学娜. “互联网+”背景下突发公共卫生事件中社区应急管理研究[J]. 兰州学刊, 2020(7): 158-168.
- [15] 孙峰, 郑雨涵, 邓炜, 等. “互联网+”时代我国应急管理吹哨预警机制优化研究[J]. 电子政务, 2021(9): 93-104.
- [16] 雷方琴. “互联网+”时代应急管理机构档案管理的创新研究[J]. 黑龙江档案, 2023(4): 216-218.
- [17] LEE H, SANG Gi, LEE K B. An Internet of Things System Architecture for Aiding Firefighters in the Scene of Disaster[J]. Journal of Information Processing Systems, 2018, 14(5): 1286-1292.
- [18] 黄俊斌, 张国维, 闫肃, 等. 基于物联网技术的建筑火灾风险动态评估[J]. 消防科学与技术, 2020, 39(10): 1371-1375.
- [19] PENG T, KE W. Urban Fire Emergency Management Based On Big Data Intelligent Processing System and Internet of Things[J]. Optik, 2022: 170433.
- [20] LU X, YANG Z, XU Z, et al. Scenario Simulation of Indoor Post-Earthquake Fire Rescue Based On Building Information Model And Virtual Reality[J]. Advances in Engineering Software, 2020, 143: 102792.
- [21] 钟炜, 李志勇, 马晋超. 基于 BIM 技术的高层火灾应急疏散研究[J]. 消防科学与技术, 2020, 39(6): 790-793.
- [22] CHEN H, HOU L, ZHANG G K, et al. Development of BIM, IoT and AR/VR Technologies for Fire Safety And Upskilling[J]. Automation in Construction, 2021, 125: 103631.
- [23] CAO R F, LEE E W M, XIE W, et al. Development of An Agent-Based Indoor Evacuation Model for Local Fire Risks Analysis[J]. Journal of Safety Science and Resilience, 2023, 4(1): 75-92.
- [24] 王芳, 杨京, 徐路路. 面向火灾应急管理的本体构建研究[J]. 情报学报, 2020, 39(9): 914-925.
- [25] PINCOTT J, TIEN P W, WEI S, et al. Indoor Fire Detection Utilizing Computer Vision-Based Strategies[J]. Journal of Building Engineering, 2022, 61: 105154.
- [26] KHAN A A, KHAN M A, LEUNG K, et al. A Review of Critical Fire Event Library for Buildings and Safety Framework for Smart Firefighting[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2022: 103412.
- [27] 倪凌佳, 黄晓霞, 李红春, 等. 基于协作式深度强化学习的火灾应急疏散仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2022, 34(6): 1353-1366.
- [28] 刘永立, 王海涛. 基于知识图谱的火灾及耦合灾害应急处置管理[J]. 煤矿安全, 2022, 53(9): 144-150.
- [29] LIU G, YUAN H, HUANG L. A Fire Alarm Judgment Method Using Multiple Smoke Alarms Based On Bayesian Estimation[J]. Fire Safety Journal, 2023: 103733.
- [30] 马化腾, 张晓峰, 杜军. 互联网+国家战略行动路线图[M]. 北京: 中信出版社, 2015: 68-123.
- [31] 唐明伟, 苏新宁, 张艳琼. 面向大数据的突发事件物联网情报采集[J]. 情报科学, 2018, 36(3): 46-50, 69.
- [32] 唐明伟, 蒋勋, 姚兴山. 基于 RESTful Web 服务的数字图书馆异构数据集成框架[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 2017, 38(4): 235-240.
- [33] ZUKOSKI E E, KUBOTA T, CETEGEN B. Entrainment in Fire Plumes[J]. Fire Safety Journal, 1981, 3(3): 107-121.
- [34] 卢颖, 赵志攀, 姜学鹏, 等. 大数据视域下体育馆动态火灾风险指标研究[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(4): 155-162.
- [35] 李继超, 郭圣煜, 孔刘林, 等. 施工现场火焰检测和预警机器人设计及应用[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(4): 141-146.