

多源数据融合的物联网城市火灾风险评估模型实证研究

李子建

澳門城市大學

DOI:10.32629/pe.v4i1.18996

[摘要] 对多源数据融合的物联网城市火灾风险评估模型做实证研究。依靠物联网采集多源数据,然后融合处理挖掘数据的价值。创建评价模型,对建筑特征、消防设施等各方面因素进行考虑。实证分析验证模型的有效性、准确性,给城市火灾风险评估提供新的思路和方法,助力城市消防管理决策,提高火灾防控能力。

[关键词] 多源数据融合; 物联网; 城市火灾风险评估模型; 实证研究

中图分类号: S776.29+2 **文献标识码:** A

Empirical Research on Fire Risk Assessment Model for Internet of Things Cities Based on Multi-Source Data Fusion

Zijian Li

City University of Macau

[Abstract] An empirical study is conducted on the fire risk assessment model of Internet of Things cities based on multi-source data fusion. Rely on the Internet of Things to collect multi-source data, and then integrate and process it to mine the value of the data. Create an evaluation model to take into account various factors such as architectural features and fire protection facilities. Empirical analysis verifies the validity and accuracy of the model, providing new ideas and methods for urban fire risk assessment, assisting in urban fire management decision-making, and enhancing fire prevention and control capabilities.

[Key words] Multi-source data fusion Internet of Things Urban fire risk assessment model Empirical research

引言

2025年11月26日香港新界大埔区宏福苑五级火灾,造成160人死亡,1984个单位受灾,损失严重。城市火灾严重威胁着人们的生命财产安全以及城市的稳定发展。香港属于国际化大都市,高层建筑众多,人口高度集中,城市火灾防控面临严峻考验。近几年来,香港澳门发生多起高层住宅、商业大厦火灾事故,传统风险评价方法的数据整合和实时响应的不足暴露出来。本文利用物联网技术,利用多源数据融合的方式建立城市火灾风险评估模型,可以很好地整合建筑结构、消防设施状态、实时环境监测等各种信息,大大提高评估的准确性、及时性。这一研究为香港、澳門复杂的城市环境下的火灾防控提供了科学决策的依据,也符合当下智慧城市创建的热点需求,即“数据驱动治理”,对内地高密度城市的消防安全管理有着重要的借鉴意义。

1 数据融合方法概述

多源数据融合方法按照融合层次可以分为数据层融合、特征层融合和决策层融合三类,不同的融合层次的方法对应不同的数据处理需求和评价场景。数据层融合属于最低层次的融合,直接对原始采集数据实施整合处理,常用的有加权平均法、卡尔

曼滤波法等,其优点是可以最大程度地保留原始数据的细节信息,适合于原始数据质量较好、数据类型一致的情形,不过对于数据噪声比较敏感,计算量也较大。特征层融合要先对各个源数据做特征提取,再将提取出的特征向量进行融合,常用的有主成分分析法、贝叶斯估计法、支持向量机等,该层级融合可以有效地降低数据的维度,减少冗余信息,提高数据处理的效率,适合于原始数据类型差异较大的情况。决策层融合是最高层的融合,以各个独立决策结果为基础进行综合判断,常用的有D-S证据理论、模糊综合评价法等,具有对数据传输过程中噪声和失真较强的鲁棒性,适合于数据采集环境复杂、单源数据决策可靠性不足的情况,三种融合层级相互补充,可以根据火灾评估的具体需求进行组合使用。

2 物联网在城市火灾数据采集中的应用

2.1 物联网架构与组成

物联网架构采用分层设计思想,在城市火灾数据采集方面,大致可以分为感知层、网络层以及应用层这三个主要层次,各个层次相互配合,从而实现火灾有关数据的全流程采集、传输并进行初步处理。感知层是数据采集的基础层,主要由各种传感

器、射频识别设备、视频监控设备等感知终端组成,它的主要作用就是实时采集火灾相关的物理量和状态信息,比如温度、烟雾浓度、可燃气体浓度、建筑内人员流动状态等,这一层级的关键要求就是高灵敏度、高可靠性以及环境适应性,能在复杂城市环境中稳定运行。网络层是数据传输的枢纽,负责把感知层采集到的原始数据传送到后端处理中心,主要由无线通信模块、有线通信网络、网关设备等组成,通信方式有无线局域网、移动通信网络、低功耗广域网等多种,根据数据传输速率、传输距离、功耗需求来灵活选择,其核心功能就是保证数据传输的实时性、安全性、稳定性。应用层是数据处理和应用的核心层次,负责对传输到中心的数据进行分析、存储、展示,由数据处理服务器、存储设备、应用管理平台等组成,为火灾风险评估提供数据预处理和支撑服务。

2.2 火灾相关数据采集技术

物联网环境下的城市火灾相关数据采集技术具有多样化、高精度、实时化的特点,针对不同的火灾影响因素形成了相应的采集技术体系。对于物理环境参数,主要使用各种传感器技术,温度传感器可以对建筑内、外环境温度进行实时监测,烟雾传感器可以对火灾初期产生的烟雾颗粒进行准确的检测,可燃气体传感器可以对燃气管道、化工区的可燃气体泄漏情况进行监测,这些传感器通过感知层终端实现数据的实时采集。针对建筑属性、基础设施信息,采用射频识别技术与地理信息系统相结合的方式,在建筑构件、消防设施上安装射频识别标签,实现建筑属性、设施状态等信息的快速读取和关联,结合地理信息系统实现空间位置信息的精准采集和定位。针对人员流动和活动状态,使用视频监控技术和人员定位技术,利用高清摄像头对公共区域的人员密度进行实时监测,通过蓝牙、超宽带等定位技术对人员的位置进行精准追踪,还可以利用智能电表、水表等设备采集用火用电用水的数据,间接获得人员活动习惯相关的信息。

2.3 数据传输与存储策略

根据城市火灾数据具有实时性、海量性的特点,物联网系统采用了分层传输、分级存储的方式,以使数据传输更高效、存储更安全可靠。根据数据类型和传输要求采用不同的传输策略,对于温度、烟雾浓度等需要及时上传的数据,使用低延迟、高优先级的传输通道;对于建筑属性、地形地貌等静态数据,采用批量传输的方式;用数据压缩技术减少数据传输量;用加密传输技术保证数据在传输过程中不被篡改或者泄露。在数据存储策略上采用边缘存储和云端存储相结合的分级存储方式,边缘节点保存最近采集的实时数据和重要的应急数据,便于本地快速调用和应急响应,减轻云端存储的压力,云端存储保存大量的历史数据、静态数据以及融合处理过的数据,采用分布式存储架构提高存储容量和可靠性,利用数据备份技术实现数据的多副本存储,防止数据丢失,同时建立数据生命周期管理机制,根据数据的重要程度对数据进行分类存储和清理,提高存储资源的利用率,为火灾风险评估提供长期、稳定的数据存储支持。

3 城市火灾风险评估模型构建

3.1 评估指标体系确定

城市火灾风险评估指标体系的确定要遵循科学性、全面性、针对性和可操作性原则,以多源数据融合的视角为基础,从火灾诱发因素、承灾体脆弱性、应急保障能力三个主要方面来构建。火灾诱发因素维度分为自然环境因素和人为因素两大类,自然环境因素涉及气象条件、地形地貌等,人为因素涉及用火用电习惯、人员密度、易燃易爆物品存储情况等,该维度指标用来体现一个区域发生火灾的可能性。承灾体脆弱性维度以建筑、基础设施为主,包含建筑结构耐火等级、建造年代、建筑面积、消防设施配置状况、消防通道可达性等指标,体现火灾发生时区域抵御灾害造成损失的水平。应急保障能力维度包含消防救援力量配置、应急响应速度、医疗救援配套、应急物资储备等指标,用以体现区域火灾发生时的应急处置和救援能力。指标筛选时,用文献研究法整理已有研究成果,结合专家咨询法对指标做初步筛选,然后通过相关性分析剔除冗余指标,最后形成层次分明、逻辑严密的评估指标体系,为模型构建提供明确的评估依据。

3.2 模型构建方法选择

根据多源数据融合的特点和城市火灾风险评估的要求,选择融合多种方法优势的组合作为建模方法来建立评估模型,核心采用层次分析法和模糊综合评价法相结合的思路,并加入多源数据融合处理模块。层次分析法适合于处理多维度、多层次的复杂评价问题,可以采用定性定量相结合的方式确定各个评价指标的权重,有效地解决指标重要程度难以量化的难题,通过建立判断矩阵、一致性检验等步骤来保证权重分配的科学性和合理性。模糊综合评价法适合于解决评估过程中出现的模糊性、不确定性问题,城市火灾风险评估中许多指标的评价标准具有模糊性,“人员密度高”“消防设施完备”等很难用准确的数值来衡量,用模糊综合评价法可以把模糊性的语言转化为定量的评价结果,提高评价的准确性。多源数据融合处理模块作为模型的基础支撑,按照数据层、特征层、决策层三级融合的思路来开展工作,先对多源原始数据进行预处理融合,再提取特征向量进行特征层融合,最后把融合的结果输入评估模型做决策层的融合评估,从而达到多种方法的优势互补的目的,提高模型评估的效果。

3.3 模型参数校准与优化

模型参数校准和优化,是提高城市火灾风险评估模型精度、可靠性的关键步骤,要结合多源数据特点、实际评估需求,用系统的方法来完成。参数校准阶段,首先要确定模型中的核心参数,即层次分析法中的指标权重参数、模糊综合评价法中的隶属度函数参数等,利用历史火灾案例数据、实地调研数据等样本数据对参数进行初步校准,将校准后的参数代入模型进行初步评估,比较评估结果与实际火灾风险状况的偏差。对偏差较大的参数用敏感性分析的方法找出影响评估结果的重要参数,重点进行调整优化,通过迭代计算逐步减小评估偏差。参数优化阶段使用

智能优化算法对参数组合进行全局优化,使用交叉验证法检验优化效果,保证优化后的参数具有良好的泛化能力,避免过拟合。同时建立参数动态更新机制,由于城市环境是动态变化的,建筑属性、人员流动、消防设施状态等都会发生变化,定期收集最新的多源数据,对模型参数进行重新校准和优化,使模型能够适应城市环境的动态变化,保持较高的评估精度,为火灾风险评估提供可靠的模型支撑。

4 实证研究设计与实施

4.1 研究区域选择与数据收集

实证研究区域的选择要符合典型性、代表性原则,根据城市火灾风险的主要影响因素,选取居住、商业、工业等多功能分区的城市建成区作为研究区域,该区域既有高密度居住社区、大型商业综合体,又有小型工业厂房、城市公共空间,可以全面覆盖不同类型的火灾风险场景,符合模型实证验证的要求。数据收集工作依托物联网数据采集体系与多源数据融合思路,先经由布置在研究区域各类传感器、视频监控设备、射频识别设备等物联网终端,实时获取温度、烟雾浓度、人员密度、消防设施状态等实时动态数据,再经由政府部门公开渠道、行业数据库搜集研究区域的建筑属性数据、消防基础设施分布数据、历史火灾案例数据、气象统计数据等静态和半静态数据,最后经由实地调研的方式补充搜集部分难以通过现有渠道获取的数据。

4.2 模型应用与结果分析

模型应用阶段,把经过预处理的多源数据输入到建立的城市火灾风险评估模型中,按照数据融合处理、指标权重计算、模糊综合评价的流程进行评估。首先利用三级多源数据融合模块对各种数据进行融合处理,得到标准化的评估指标数据;再用层次分析法计算出各个层次的评估指标权重,并通过一致性检验来保证权重分配的合理性;最后用模糊综合评价法对各个评估单元的火灾风险等级进行判定,得到研究区域的火灾风险评估结果。结果分析部分从空间分布和风险等级两个方面进行分析,空间分布分析主要研究区域内各个功能分区的火灾风险分布情况,找出高风险区、中风险区、低风险区的空间分布特点,分析各个区域风险差异的主要原因,风险等级分析利用历史火灾案例数据,对比评估得出的风险等级与实际火灾发生情况的匹配度,检验模型评估结果的合理性。

4.3 模型验证与可靠性检验

模型验证和可靠性检验是保证评估模型实用性和科学性的关键步骤,采用多种验证方法相结合的方式,对模型的评估精度、稳定性、泛化能力进行全面检验。首先采用混淆矩阵验

证法对模型分类评估精度进行验证,将评估出的风险等级结果与实际火灾风险状况进行对比,用准确率、精确率、召回率等指标来量化模型的评估精度。其次用交叉验证法检验模型的稳定性,将收集的数据集随机划分为训练集和测试集,使用多次更换训练集和测试集的方法重复评估,分析不同数据集下模型评价结果的波动情况,如果波动范围在合理区间内,说明模型具有良好的稳定性。最后采用对比验证法检验模型的优越性,将构建的多源数据融合评估模型与传统单一数据评估模型的评估结果进行对比,分析两种模型在评估精度、全面性等方面的差异,验证多源数据融合对提升模型评估性能的作用。同时用专家评审法邀请消防安全领域的专家对模型评估结果的合理性、实用性进行定性评价,结合定量验证结果形成综合检验结论,若模型通过各项检验,则说明该模型具有良好的可靠性和实用性。

5 结束语

本文完成多源数据融合的物联网城市火灾风险评估模型的建立与验证。该模型可以很好地把各种数据综合起来,并且能够对火灾的风险做出准确的评价。研究结果对城市消防管理有着重要的意义,但仍然有改进的空间。可继续扩展数据来源,优化模型算法,提高模型性能,为城市消防安全保障提供更好的服务。

[项目]

基於智能物聯技術的澳門城市安全風險綜合監測預警機制研究;澳門特別行政區科學技術發展基金項目,編號:0004/2024/STT。

[参考文献]

- [1]张雯皓.基于物联网感知的应急智能决策系统的设计与实现[D].北京邮电大学,2023.
- [2]郑楸,何卓晟.消防物联网在当前火灾防控领域的运用分析[J].中国新通信,2023,25(13):80-82.
- [3]范三战.城市智慧消防物联网系统在火灾防控工作中的应用及难点[J].消防界(电子版),2021,7(11):20-22.
- [4]常茂文.物联网技术在城市火灾防控中的应用探析[J].中国科技投资,2021,(13):64+107.
- [5]何昌金.城市火灾防控中物联网技术的应用[J].消防界(电子版),2021,7(06):54+56.

作者简介:

李子建(1982--),男,澳門人,博士,研究員,智能物聯減災防