

基于情景的社区应急疏散管理系统框架

□ 乔立民^{1,2} 李向阳¹ 于 峰¹ 姚 远³

[1. 哈尔滨工业大学 哈尔滨 150001; 2. 北京市新技术应用研究所 北京 100012

3. 南京大学 南京 210093]

[摘 要] 在回顾总结关于应急疏散理论与系统设计研究现状的基础上,考虑灾害应对的不确定性与复杂性,提出基于情景的社区应急疏散管理系统框架。该系统结构在基本应急疏散管理及数据集成的基础上,构建致灾因子、疏散对象与抗灾因子的三类模块,对社区疏散系统功能与架构作出再设计,并结合案例推理技术辅助疏散方案的生成与修正。

[关键词] 灾害; 社区管理; 应急疏散; 系统框架

[中图分类号] X928

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2014)05-0037-06

引言

目前,应急疏散研究主要采用数学分析法与计算机模拟仿真法,尤其是后者在面对具有偶发性和不确定性的灾害时有更好的适应性。常用的疏散仿真软件有美国橡树岭国家实验室开发的OREMS与德国研究团队开发的VISSIM等。与美国、德国等发达国家相比,我国在应急疏散策略制定、不同部门间的协同合作、资源的合理利用等方面仍存在一定的差距^[1]。在此领域理论研究上,国内外学者主要结合GIS技术与网络分析模型探讨有关疏散路径的设计^[2~3]、疏散次序安排^[4]、避难所的选择^[5]等。基于以上理论,实际应用主要体现在应急疏散系统构建方面,有基于时变动态流的网络优化模型,考虑最短疏散时间建立了基于GIS的大规模应急疏散系统^[6];亦有通过路径自动生成算法制定满意的疏散预案,并可在一定范围内依实际作出调整^[7]。

综上所述,由于灾害具有偶发性、突发性、破坏性与复杂性等特点,加之灾情信息的不完备,致使灾害应对充满不确定性^[8]。一方面,当前的应急疏散理论的研究与实际情况脱节,往往难以满足应急疏散的需求,且缺乏实践指导性;另一方面,传统的“预测-应对”模式来构建应急疏散系统已不适用,需建立“情景-应对”模式的疏散系统框架。因

此,本文结合案例推理技术提出基于情景的社区应急疏散管理系统框架(Community Emergency Evacuation Management System, CEEMS)。该系统可依据当地社区情况与居民需求在特定灾害情景下及时准确地生成有效疏散方案,从而降低社区居民因对灾害的盲目所带来的损失。

一、社区应急疏散管理

社区应急疏散规划是指在灾害来临前或者发生后,将城市中处于危险区域即目标社区的人员有计划有组织地转移至安全避难所的过程。如火灾时需要将危险社区的居民转移到附近的广场或者公园里。其主要目标是作出合理规划,把危险社区的居民通过集中疏散或分流疏散等方式在有效时间内转移到安全避难所。在特殊情况下,还需要对避难场所与安置点进行管理。但本文只考虑疏散阶段,对于避难场所的管理与后期安置不进行讨论。在应急准备阶段需考虑情景认知、信息备灾与资源布局三方面内容。

(一) 灾害情景认知

应急疏散计划的制定是严格依赖于灾害情景的,基于情景的假设、模拟、预测等方法逐渐成为灾害风险评估领域的关键技术手段,风险分析已然促使应急疏散管理更具科学性。情景可分为时间

[收稿日期] 2014-06-05

[基金项目] 国家自然科学基金重大研究计划资助项目(91024028, 91024031, 91324018)。

[作者简介] 乔立民(1973-)男,哈尔滨工业大学管理学院博士研究生,北京市新技术应用研究所室主任;李向阳(1950-)男,哈尔滨工业大学管理学院教授,博士生导师;于峰(1990-)男,哈尔滨工业大学管理学院博士研究生;姚远(1981-)男,北京大学法学博士,日本早稻田大学政治学博士,南京大学政府管理学院讲师。

情景、空间情景与灾害情景。疏散计划基于具体的灾害类别,而其前提又是通过仿真对灾害情景演化的预测与推演。因此,在实际情况发生时需依据实时数据进行动态的调整。根据美国国土安全部所制定的《National Planning Scenarios(国家应急规划情景)》^[9]中提及的15类情景中与社区疏散相关的包含10类主要灾害情景。因此,需要从灾害学与公共安全学方面基于时空角度厘清其发生、发展、演化与消失的全过程。

(二) 信息备灾布局

信息备灾就是为应急疏散所做的信息资源规划和实际建设,首先应是其布局规划。这方面研究涉及以下知识管理方面:应急管理的信息需求及表达、针对性的风险评估和风险地图、相关案例库、信息准备领域的本体构建等^[10]。对目标社区的灾害、地理环境与应急能力等需存储在相应的数据库中。

(三) 应急疏散资源布局

关于应急疏散资源的研究主要规划问题包括:疏散资源调度、疏散物资合理储备、路径选择和交通调度、路径恢复等。总体而言,应急疏散资源规划的核心问题是应急疏散资源的布局问题:合理规划需疏散社区(包括调整补充)和资源布局。

二、基于情景的CEEMS模块设计

应急疏散问题是一个多目标规划问题其研究依赖于情景,灾害情景分析可用于设定可能灾情,用于探讨具体处置措施。情景是对灾害在时空维度下灾情演变状态的一种描述与假设,是某时刻灾情所有要素的集合。制定有效可行的疏散方案是降低灾害损失的重要手段,需及时作出决策指导行动,而考虑情景是保证有效性的基本前提^[11]。当描述灾害情景时,情景要素可分为若干方面及其构成指标。情景要素均以灾害系统理论作为基本范式^[12]构建于情景,包含致灾因子子系统、疏散对象子系统(承灾载体)与抗灾因子子系统(见图1)。

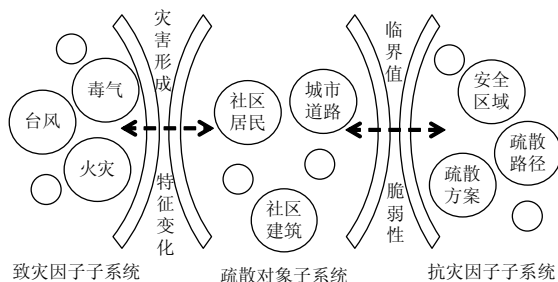


图1 基于情景的CEEMS体系总体结构

(一) 致灾因子子系统模块

致灾因子是灾害情景的重要因素,由此决定疏散的规模与类型。该模块需从致灾因子的发生、发展等情景演化作出推测来选择合适的疏散方式。

1. 致灾因子预警与监测平台:这一部分所发挥的功能是信息收集与整理,为灾害预测与构建推演情景服务,同时增加疏散方案的实用性。并通过原始环境线索、官方平台、新闻媒体与相关人员向具有致灾因子的社区居民发出警报。

2. 致灾因子情景构建:从灾害学与公共安全管理方面,融合收集得到的多源异构情景信息,提取情景要素,经组合以构建实时情景,记录灾害的演化路径规律,刻画灾害类型、性质、特征,并分析灾害发展趋势,使情景呈链式或网络表达(见图2)。

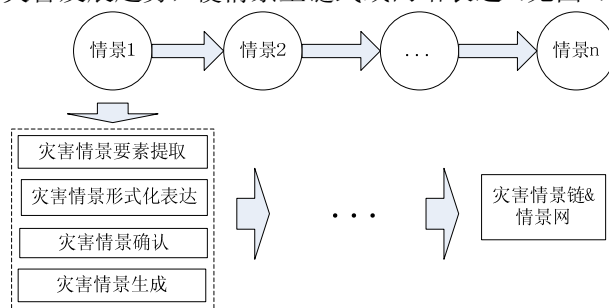


图2 灾害情景链构建流程

据此,确定灾害疏散等级指导疏散方案的设计,权衡不确定性与疏散风险之间的矛盾。

(二) 疏散对象子系统模块

疏散对象是指危险区的承灾载体与避难场所即以社区为应急管理目标的所有居民及其相关场所。

1. 疏散区域划定:灾害发生时,特别是规模较大的事件,如果城市所有社区同时疏散则会给路网带来巨大压力。需要结合城市的社区及其人口分布与交通网规划将城市分为若干区域,确定应急疏散时各区域的疏散次序与疏散时间。根据致灾因子情景,需要初步建立疏散分区,引导居民在一定范围内合理避难。实现将危险区以管理职责为划分标准,通过加权Voronoi图得到各避难场所的责任范围^[13]。

2. 人员疏散行为特征汇总:不同地区的居民不仅是群体特征、文化背景与行为习惯有所不同,较之人员应急疏散素质也差距颇大。因此,建立针对特定典型人群特征的数据库,一方面可输入到模拟仿真系统中以指导设计出较为准确适用的应急疏散方案,另一方面可融合群体或个体行为的情景要素到承灾载体情景中。

3. 人口容纳数估算:根据社区人口分布特点^[14],估算居民人口规模与分布,方法如下:

$$d = \frac{P}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} Q_{ij}}$$

$$P = \alpha d \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m S_{ij} q_{ij}$$

其中, d 表示该城市的社区人口密度, P 表示该城市总居民人数, S_{ij} 表示第 i 个社区的第 j 个建筑的面积, Q_{ij} 表示第 i 个社区的第 j 个建筑的面积的层数, s_{ij} 表示第 i 个危险社区的第 j 个建筑的面积, q_{ij} 表示第 i 个危险社区的第 j 个建筑的面积的层数。 $\alpha \in (0,1]$ 表示调解系数, 表示疏散时危险社区的人口流动情况, 白天 α 偏小, 夜间 α 接近于 1。

4. 基于GIS的地理环境情景构建: 灾害发生时, 需要来自不同领域的宏观数据与微观数据支持以构建灾区地理环境情景。包括来自各类传感器、摄像头、GPS卫星的气象数据、实时路况数据、选择步行的人数以及社区可用代步工具数量等。该组件可提供图层式的地理时空数据, 决策者可选择需要的图层进行浏览。通过对受灾地区地理环境等数据信息的收集、筛选、挖掘、过滤与分析融合, 同样经要素提取、表达与确认, 最终生成基于信息更新的动态灾区承灾载体情景链或情景网。

(三) 抗灾因子子系统模块

抗灾因子主要是指依灾情所做出的决策与采取的处置措施中所包含硬件、软件、技术、方法与执行任务的相关人员。这里主要是指疏散方案及其相关应急平台资源。该模块的主要目的是通过本体法或语义网方法自底向上构建灾害应对的主体间逻辑框架, 实现致灾因子、疏散对象与应急投入三部分的情景集成, 从而实现推演。

1. 疏散策略方案生成决策及评价: 这一部分主要是根据前两个模块所构建的情景进行仿真实现对情景的推演, 基于已有的应急能力投入推演可能的灾情状态^[15], 模拟实际参考疏散效果得到相对合适的疏散路径与疏散方式的方案选择, 预测方法可基于数据或者模型。决策者集成所有的情景要素实时构建事件从初始到当前的发展状态, 并对未来发展趋势有合理的把握。参照王旭坪等的研究^[16], 情景推演可通过模糊规则、复杂网络、物理-信息-行为等多事件耦合、贝叶斯网络、系统分析与实时情景匹配等手段, 从时空与横向纵向角度在决策点上考虑情景信息实时更新的特点, 推演情景可能的发展序列即预测从当前到未来的情景链。以时空数据为依据进行集成融合的情景演化网, 可用于探讨所得疏

散结论的可行性与效应。

结合社区具体特点与疏散目标, 决策者需在成本约束或者时间约束的条件下选择疏散方案, 并在灾后对疏散实际效果作出评价。特别是, 在疏散执行时, 需在不断仿真与修正交通情景的过程中发挥辅助决策调整方案的功能。该方案包括分区的疏散规划、避难场所的管理方案、疏散资源的指挥调度与疏散路径时间的确定, 向有关部门及居民发布。

2. 基于案例的辅助决策支持: 规律认知与经验积累的困难促使案例推理技术及对应辅助决策的案例库系统成为厘清灾害情景演变与应对的重要工具^[17]。这将有助于增加应急决策时的可用知识量, 有益于给应急决策者以心理暗示, 减少因缺乏经验和具体方案造成的压力^[18]。特别是具有不确定性、复杂性、随机性与小样本等特点的应急管理领域, 传统的统计研究方法难以从众多的案例中找出普适的规律, 历史案例作为可用的经验知识为灾害应对提供了一套决策途径。在应急疏散的紧急状态下可能面对全局信息的缺失, 难以刻画疏散过程表现出的多样性和不确定性, 而导致难以构建完整情景, 易使仿真数据出现偏差而造成更大的财产损失。历史案例便成为有价值的经验得以借鉴。通过收集各社区的相关灾害情景下的历史案例建立成库, 经检索得到相似案例可直接重用或进行适配修正辅助生成疏散方案。

3. 应急疏散优化模型: 从管理的角度, 国内外研究都表明科学的疏散计划与管理都必须依赖于合理的疏散模型, 通过数学分析、图论与人工智能算法^[19~20]得到疏散的优化结果。这一部分主要是优化应急疏散路径与估算最短疏散时间, 增强选定方案的效用。

综上所述, CEEMS的处理流程见图3。

三、CEEMS总体架构

社区应急疏散管理系统的总体框架包含面向各级应急部门、政府与社区居民及团体的应用平台、CEEMS主干模块系统、相关数据库与硬件平台等(见图4)。社区应急疏散应用平台主要面向应急部门、政府与社区居民的服务。一方面, 基于C/S与B/S混合架构的GIS系统提供城市基础地理信息的全方位内容, 包含不同图层可选择的社区3D地图以及相关灾害情景数据信息的实时信息; 另一方面, 从疏散的角度, 根据CEEMS所生成的疏散方案及时向三

方发布避难场所、疏散路径与实时信息更新。用户可通过手机登陆及时查询疏散与地理信息,以家庭为单位实现疏散导航的效果。特别是,在面对恐怖袭击类灾害时,还需做好系统的安全防护,以免疏散系统失效而造成更大的恐慌与混乱。

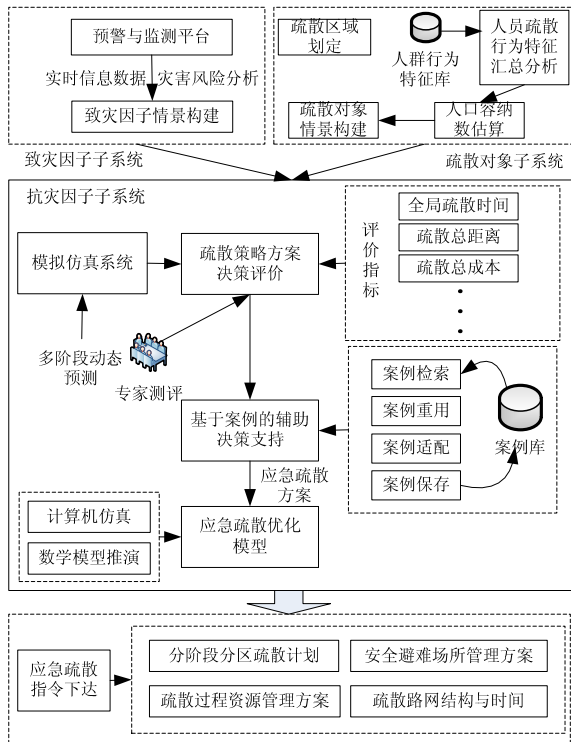


图3 应急疏散系统处理流程图

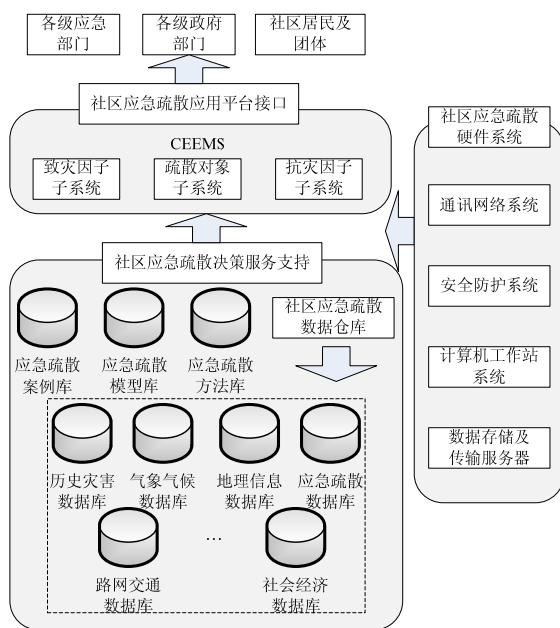


图4 CEEMS总体架构

另一个重要的方面是需要考虑该应急疏散管理系统的可扩展性,因为灾害与社区情景复杂多变,

在新的情境下该系统是否可通过系统扩展来满足应急疏散的需求是需要考虑的地方。主要有:(1)对系统性能与安全性的扩展,在面对诸如恐怖袭击或全城疏散的情景下对系统安全性能需要扩展;(2)对系统的集成特性的扩展,如处理多源异构数据或集成相关子系统;(3)当疏散原型系统设计实现后,应用于不同地区时,不可能每次都搭建全新的系统,需要结合使用者偏好扩展,并在每次事件中不断扩充。

本文所设计的CEEMS框架以“情景-应对”型为范式集成了应急疏散所用的各类数据、方法、模型与相应的硬件系统。当面对新的情境或情景时,可通过继承的方式完成疏散系统的基本分析与模拟仿真。如需要更新或改进模型与算法,可以直接修改代码或通过中间语言如CSS、Javascript、XBL等进行扩展。当然,值得注意的地方是系统的扩展需要有目的性,特别是在应急疏散的状况下,具有时间效应,如果一味追求精确而盲目扩展则会使系统十分复杂,对于应对突发性灾害是没有任何意义的,况且时间允许的条件下,用于应对发生概率极低的情景也是不需要的。

四、实例分析

本部分假设面向城市社区氯气泄漏为例说明本文的CEEMS的实例体现。氯气泄漏主要是因为存储罐、运输容器或者输送管道破裂等原因所导致。一旦泄漏能在短时间内扩散,使得附近几公里范围内都受到不同浓度的毒气污染,严重威胁居民的生命安全。在应急准备阶段已有的信息备灾体系下,建立如图5所示的简化的氯气控制区域划分。一方面,需要立即派遣医疗团队进入氯气高浓度与低浓度区域救援与转移居民;另一方面,需要立即对氯气缓冲区域居民制定疏散计划,调遣资源与指挥居民自行撤离至就近安全区域的避难场所。

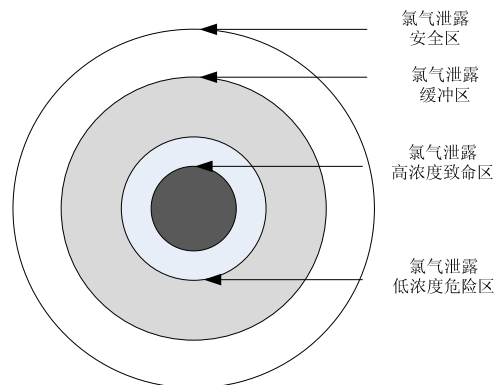


图5 氯气泄漏区域划分图

Board, 2005(05): 2401.

[4] CHEN X W, BENJAMIN F Z. Agent-based modeling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and evacuation strategies[J]. Transportation Research Board, 2004(04): 329.

[5] Bandana K. A GIS-Based model to determine site suitability of emergency evacuation shelters[J]. Transaction in GIS, 2008, 12(2): 227-248.

[6] 卢兆明, 林鹏, 黄河潮. 基于 GIS 的都市应急疏散系统[J]. 应急救援, 2005, 08(2): 35-40.

[7] 李仁杰. 城市居民防空疏散调度模拟系统设计与实现[J]. 测绘通报, 2005, 4: 53-55.

[8] 闪淳昌. 应急管理中国特色的运行模式与实践[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2011: 1-2.

[9] US /DHS. National Planning Scenarios[EB/OL]. (2014-05-12). <http://media.washingtonpost.com/wp-srv/nation/nationalsecurity/earlywarning/National Planning Scenarios April 2005.pdf>.

[10] 沙勇忠, 徐瑞霞. 基于 AT 的应急信息需求分析: 框架及实证研究[J]. 信息资源管理学报, 2011(2): 32-48.

[11] 王旭坪, 樊双姣, 阮俊虎. 基于情景的自然灾害应急管理系统框架[J]. 电子科技大学学报: 社科版, 2013, 15(3): 17-21.

[12] 史培军. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1991, 11: 37-42.

[13] 李刚, 马东辉, 苏经宇. 基于加权 Voronoi 图的城市地震应急避难场所责任区的划分[J]. 建筑科学, 2006, 22(3): 55-59.

[14] 黄静, 叶明武, 王军, 等. 基于 GIS 的社区居民避震疏散区划方法及应用研究 [J]. 地理科学, 2011, 31(2): 204-210.

[15] YUAN S C, MA Y F, ZHANG H, LIU Y. An urban traffic evacuation model with decision-making capability[C]. 10th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, ISCRAM, 2013: 317-321.

[16] 王旭坪, 杨向英, 樊双姣, 阮俊虎. 非常规突发事件情景构建与推演方法体系研究[J]. 电子科技大学学报: 社科版, 2013, 15(1): 22-27.

[17] 张辉, 刘奕. 基于“情景-应对”的国家应急平台体系基础科学问题与集成平台 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5): 947-953.

[18] KLEINDORFER P R, SAAD G H. Managing Disruption Risks in Supply Chains [J]. Production and Operations Management, 2005, 14(1): 53-68.

[19] 曹强, 张明智, 李志强, 孙林. CTI 中车辆实时最佳路径搜索算法设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(21): 6777-6780.

[20] 张维, 郑小平, 程礼盛. 考虑作用力的人群疏散元胞自动机模型研究[J]. 电子科技大学学报: 社科版, 2013, 15(3): 26-30.

Framework of Emergency Evacuation Management System for Community Based on Disaster Scenario

QIAO Li-min^{1,2} LI Xiang-yang¹ YU Feng¹ YAO Yuan³

(1. Harbin Institute of Technology Harbin 150001 China;

2. Beijing New Technology Application Research Institute Beijing 100012 China

3. Nanjing University Nanjing 210093 China)

Abstract In recent years, frequent happening disasters such as super-typhoon and toxic gas leakage in China seriously threaten urban community residents' lives and property. Once the incident occurs, the first issue which should be considered is to implement safety evacuation in a short time. The emergency evacuation management is very dependent on disaster scenario. Thus, after reviewing related emergency evacuation researches on the basic theory and system design, the framework of emergency evacuation management system based on disaster scenario is proposed which considers the uncertainty and complexity of the disaster response. Based on traditional emergency evacuation management and existing data integration, three models of factors leading to disasters, object relief and factors of fighting disasters are built, and the community evacuation functions and structure redesigned. Furthermore, the case-based reasoning is employed to assist to generate and revise the emergency evacuation plan.

Key words disaster; community management; emergency evacuation; system framework

编辑 何 婧