

# 面向火灾动态疏散的三维建筑信息模型

朱 庆<sup>1,2</sup> 胡明远<sup>3,4</sup> 许伟平<sup>1</sup> 林 琚<sup>3,4</sup>  
杜志强<sup>1</sup> 张叶廷<sup>1</sup> 张 帆<sup>4</sup>

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川 成都,610031

3 香港中文大学深圳研究院,广东 深圳,518057

4 香港中文大学太空与地球信息科学研究所,香港 新界 沙田

**摘 要:**基于三维建筑空间表达,充分结合建筑防火专题语义信息,建立了面向建筑物内部空间划分与通达性分析的一体化语义描述,并结合防火部件层次的动态特征,发展面向室内火灾动态疏散过程的三维建筑信息模型,从而辅助火灾应急疏散的三维空间逃生分析。基于实验构建的三维建筑信息模型及其基于语义的动态联通网络,证明了其在室内火灾动态疏散中的特殊价值。

**关键词:**三维建筑信息模型;室内火灾;智能建筑部件;动态疏散

中图法分类号:P208

文献标志码:A

室内火灾发生时有其突发性、多变性和烟毒性等特点,复杂的室内空间结构、人员和设施分布使得有效的室内火灾管理更加困难。传统的“二维静态火警疏散图”在数据信息含量、空间表现、分析能力上的不足日益明显,难以准确、动态、直观地反映火灾发生时室内建筑的空间通达性、有效逃生空间与相对安全区域,无法正确判断失火点相关的局部区域的建筑部件的动态行为与特征规律。兼顾几何、外观和语义表达的三维建筑信息模型在室内火灾管理中的特殊作用越来越明显<sup>[1-3]</sup>,但却仍无法满足室内火灾动态分析对建筑结构空间的特定需求。首先,目前还存在着对空间对象及其相互关系认知的多语义性,普遍缺少诸如“防火分区、防火卷帘、防火门”(门作为防火门、天台门、普通房间门针对火灾应急其意义将大相径庭)等关键设施部件及层次关系描述<sup>[4]</sup>,不适合火灾发生时的内部空间划分且很难建立室内空间的立体关联,急需规范并确立其语义描述与信息表达<sup>[5-8]</sup>。其次,难以应对室内火灾的高动态环境变化所引发的建筑部件功能、状态与生命周期的改变,需要建立建筑部件层面的语义、行为、几

何的一体化关联与统一管理,从而建立微观细致的室内逃生空间判读及建筑部件特征的动态行为描述<sup>[9]</sup>。再次,传统的应急疏散网络的描述方法仍局限于静态几何特征<sup>[6]</sup>,需要结合建筑空间与建筑部件的动态行为的语义交互过程<sup>[10]</sup>,迫切需要疏散网络随周围环境特征变化而动态更新其通达空间<sup>[11]</sup>。

已有三维建筑信息模型如从面向几何表达的 CityGML2.0,发展为面向室内导航而加入拓扑与部分语义信息的 IndoorGML<sup>[9]</sup>,对室内空间在语义层次的抽象划分与多重关联往往针对建筑内部结构空间的静态特征,尚难以建立火灾应急疏散过程中建筑空间与动态行为的交互过程<sup>[11]</sup>,并局限于几何空间分析如“最短路径”等,难以应对室内火灾发生时的特殊环境变化特征<sup>[1-4]</sup>。本文以室内火灾应急中的建筑空间实体为研究对象,针对建筑内部复杂的有效逃生空间及其动态变化特征,建立面向室内火灾动态疏散的三维建筑信息模型,刻画室内火灾环境的动态三维空间结构及其语义关联关系。

收稿日期:2013-06-19

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41101370,41371388);国家 863 计划资助项目(2012AA121401,2013AA122301);国家民政部减灾和应急工程重点实验室开放研究基金资助项目(LDRERE20120302)。

第一作者:朱庆,博士,教授,博士生导师,现主要从事三维动态 GIS 方面的理论与方法研究。E-mail: zhuq66@263.net

通讯作者:胡明远,博士,副研究员。E-mail: humingyuan@gmail.com

# 1 面向室内火灾动态疏散过程的三维建筑信息模型

本文从语义层、拓扑层、行为层等 3 个不同的逻辑与需求层次入手,依次面向室内火灾应急的建筑内部空间划分与通达性语义关系、建筑部件

的动态防火特征等几个方面给出了面向室内火灾动态疏散的三维建筑信息模型表达。

语义层是面向室内火灾对建筑部件的语义本体及其逻辑关系的综合表达(图 1),参考室内导航需求<sup>[10]</sup>,拓展面向室内火灾动态疏散的建筑语义描述包括以下内容。

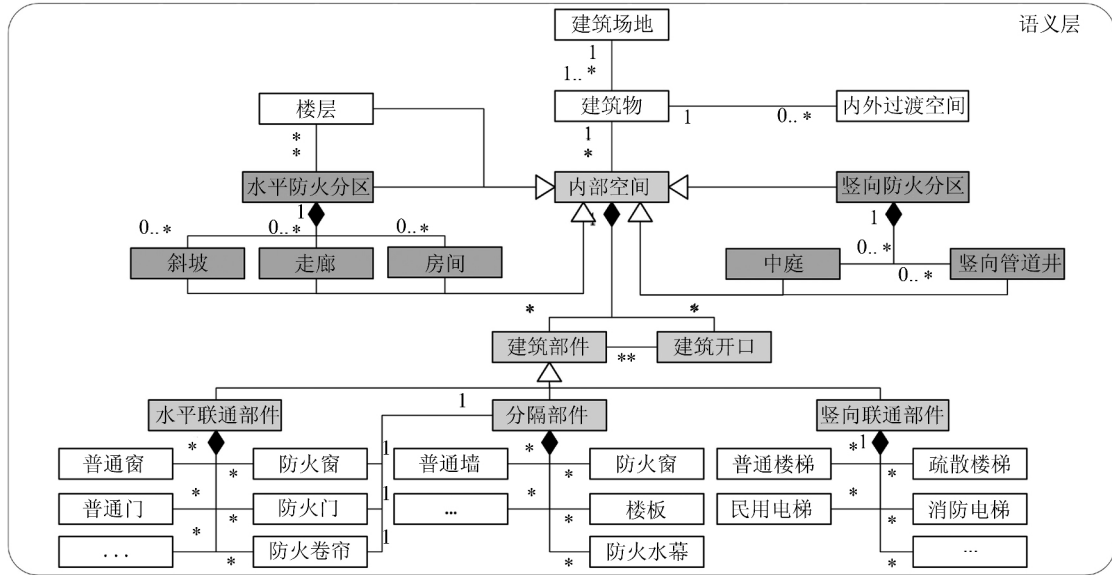


图 1 面向室内火灾动态疏散的语义分类

Fig. 1 Semantic Classification for Facilitating Indoor Fire Emergency Evacuation

防火分区:基于防火分隔措施划分出的、能在一定时间内防止火灾向同一建筑的其余部分蔓延的局部空间区域。可划分为两类:① 竖向防火分区,用于突出强调火灾发生时的“竖井”等重点关注区域,并有助于防止多层或高层建筑物层与层之间发生的纵向火灾蔓延,其语义特征主要包括指中庭、竖向管道井等。② 水平防火分区,由一系列“防火分隔部件”将建筑内部同一层面离散为独立的防火区域,用以减缓火灾在水平方向上蔓延。包含同一水平层次的多个建筑部件并形成防火分区的整体空间与逻辑表达。

建筑开口:属于特定的空间并与联通部件或防火隔断部件建立关联,一般分为建筑出口、层出口、房间出口、窗口、电梯口、楼梯口等。此外,建筑出口在几何上的重要作用还在于有效衔接室内火灾空气动力学模拟的数据结构类型。

分隔部件:是指可以在一定时间内延缓或阻止烟气火势蔓延的建筑部件,可分为“动态防火分隔”与“静态防火分隔”。“动态防火分隔”在疏散救援需要时,可以一定程度上的关闭或开启,如防火门、防火卷帘等。“静态防火分隔”是指固定的

隔断构件,如防火墙、楼板等。

联通部件:是指火灾发生时在疏散过程中起到交通作用的建筑部件,从竖向和水平两个层次划分利于快速建立室内疏散“连结”网络。“水平联通部件”包括门、窗、防火卷帘等;“竖向联通部件”包括用于连接立体空间的电梯、楼梯等建筑部件。

拓扑层是基于语义层的本体特征描述,以内部空间-建筑部件-建筑开口 3 个语义特征为逻辑纽带,突出强调建筑物的内部空间划分与通达性结构。如图 2 所示,内部空间-建筑部件-建筑开口之间表征为 3 个关系结构:包含关系、关联关系以及连通关系,分别承担建筑内部空间的空间划分、疏散网络联通以及部件行为特征判断等应用需求。如建筑物的内部空间可以包含多个建筑部件和多个建筑开口,并通过建筑开口与建筑部件间的关联关系,识别各语义本体间的连通关系。

行为层是面向火灾发生时建筑部件本体的动态变化特征,并力求使其具有智能的动态分析能力。核心结构由“防火部件/建筑部件”的事件-功能-状态组成(图 3),事件可以激发建筑部件的特

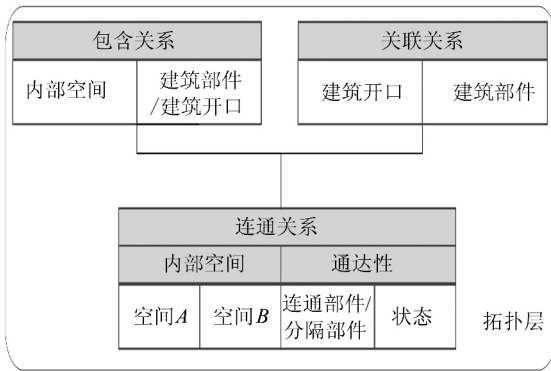


图2 面向语义部件的拓扑关系描述

Fig. 2 Description of Topological Relations Between Semantic Components

定功能,从而也改变建筑部件的状态;而部件的功能作用的不同将决定部件的状态,同时部件的状态也可以制约功能的实效。其中,“事件”是指由某个建筑部件所关联或触发的特定事件,如某个建筑部件失火将触发该防火分区内防火卷帘开启的事件。“状态”描述为当前部件功能的开启或关闭状态等,如分为开启、关闭、失灵等状态。“功能”描述其在火灾发生时所起的作用,如防火卷帘在火灾发生时将承担有效阻隔火势或烟雾蔓延的作用,而多数情况下为服务于室内交通的联通作用。

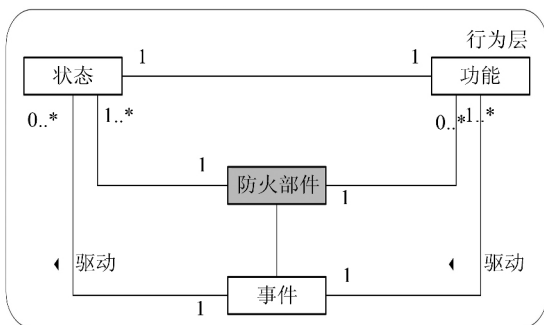


图3 行为层描述

Fig. 3 Structure of Behavior Reasoning of Building Components

## 2 试验分析

本文选取某综合大楼的三维模型作为试验数据,对室内防火应急的核心语义特征分类,表1~表3依次描述了建筑空间、建筑部件以及建筑开口的几何与联通网络基元。

基于前述的拓扑关系结构,可构建以建筑物为根节点的语义树结构表达,具体可划分为水平与竖向防火分区等内部空间,并查询与其有包含关系的“建筑部件与建筑开口”,同时建筑部件将

表1 建筑空间的几何与联通网络基元

Tab. 1 Geometric Representation and Network Elements of Interior Spaces

建筑空间	部件组成	联通网络节点
水平防火分区	联通部件	关键部件节点+
	+分隔部件	空间内部节点
	+建筑开口	
房间	联通部件	中轴线点
	+分隔部件	
	+建筑开口	
走廊	联通部件	中轴线点
	+分隔部件	
	+建筑开口	

表2 建筑部件的几何与联通网络基元

Tab. 2 Geometric Representation and Network Elements of Building Components

建筑部件	几何表达	联通网络节点
门	复合体	关联开口
楼梯	复合体	关联开口
楼板	复合体	关联开口

表3 建筑开口的几何与联通网络基元

Tab. 3 Geometric Representation and Network Elements of Building Openings

建筑开口	几何表达	联通网络节点
防火卷帘开口	包围盒(虚拟表达)	包围盒底部中心
手扶电梯口	包围盒(虚拟表达)	包围盒底部中心
房间出口	包围盒	包围盒底部中心

细分为水平联通部件、竖向联通部件以及分隔部件,直至完成整个语义树结构。进一步,结合防火部件的行为特征分析,可实现室内应急空间的动态疏散网络更新。如图4所示,图4(a)为不同层的基本空间结构与建筑部件语义信息,本实验默认楼层与防火分区为一一对应关系;图4(b)为建筑内部所有与室内火灾应急相关的语义部件通过联通关系表构建的初始全局联通网络,网络节点依据语义信息的不同具有两级层次分类:高亮点描述为一级网络节点(如图中楼梯节点、房间门节点、走廊节点等),通过重要的语义特征“建筑开口”建立各建筑部件之间的联通关系,从而建立初始的、全局的一级节点的静态联通网络。此外,面向一级网络节点所联通的内部空间,结合其内部中轴线特征构建各自的局部联通网络,从而形成第二层级的局部网络节点,如图4(b)中灰色点所示。基于上述的全局网络,图4(d)防火卷帘(防火部件)开启前后的疏散网络更新情况,火灾发生时将触发防火卷帘的行为状态为开启状态,该空间将变为防火隔断,该节点在原有的静态网络中将变得不可通达,与之联通的网络弧段将被打断,

从而触发联通网络的局部重新构建,进而实现部件行为特征变化对疏散网络的动态更新。进一步,设定 2 层至 1 层的手扶电梯引发火灾(类似如 2012-08-10,南京国际广场的五楼至六楼手扶电梯底部传输装置和硬塑料隔板失火),寻求 2 层的特定房间至建筑主出口的快速疏散路径,如图 4(e)所示。因火灾点改变初始静态网络中的竖向

联通部件(手扶电梯)的行为特征,使其处于失火状态,该通路的节点将失效,整个的疏散网络将不考虑此节点,原有的局部联通关系将不可用,触发局部网络节点的动态更新,动态更新“建筑开口”与“内部空间”的联通关系,从而建立 2 层的特定房间至建筑主出口的快速疏散路径:依次经过房间门、疏散楼梯、走廊等联通节点。

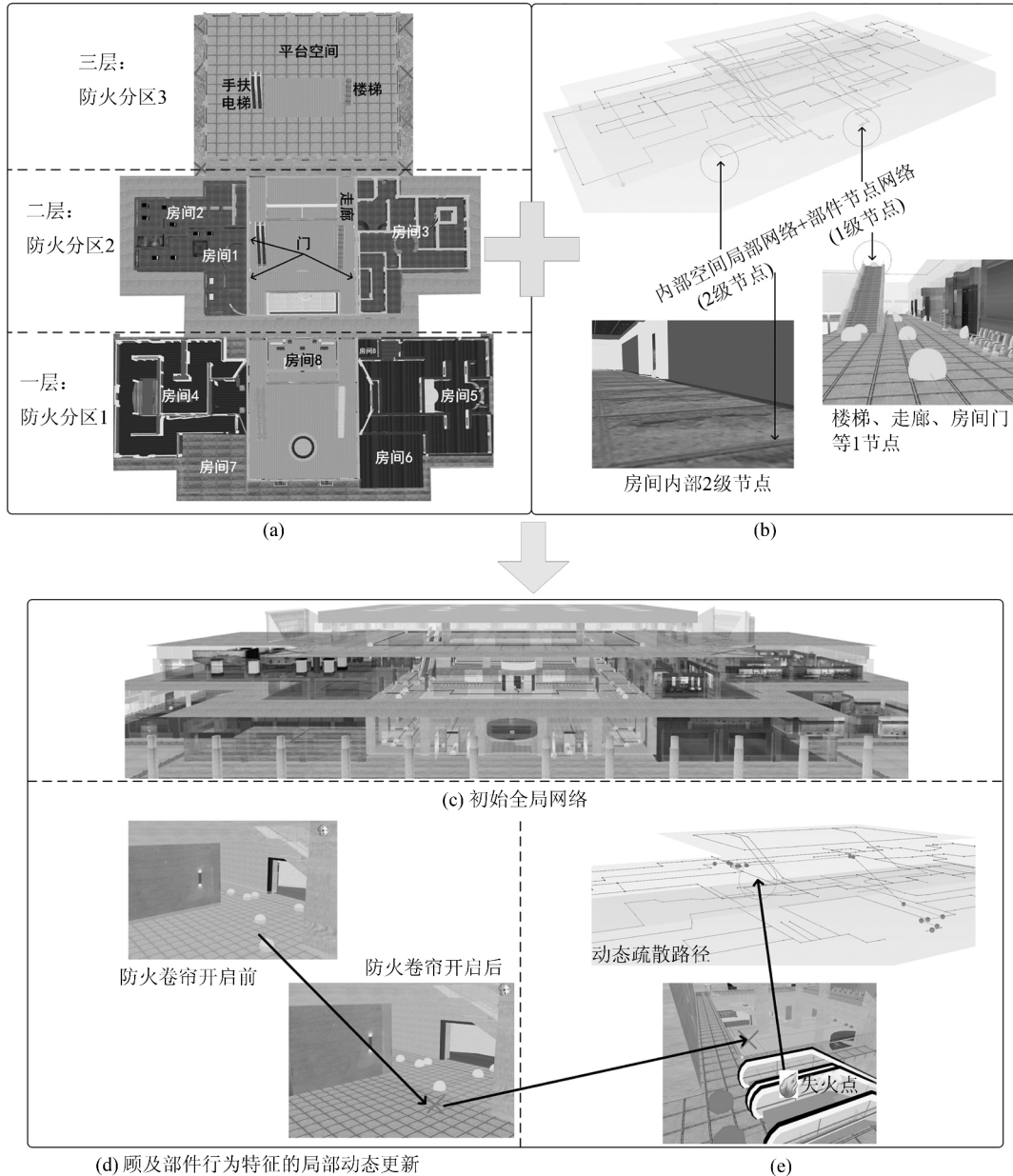


图 4 实验描述与分析

Fig. 4 Representation and Analysis of Typical Experiments

至此,基于上述实验构建的建筑信息模型及其联通网络,可以高效实现对疏散空间的动态分析及即时更新。试验分析表明,该三维建筑信息模型有如下特性。

1) 建立面向内部空间划分与通达性分析的火灾语义信息,进而明确火灾应急过程中的防火分区、

内部空间、建筑开口、联通部件、分隔部件的多层次关系,保证室内空间防火特征的逻辑一致性管理。

2) 面向建筑内部空间的部件层次,扩展建筑部件的具有防火属性且可供分析的语义行为特征,有利于对疏散空间的高效动态分析及实时更新。

3) 通过结合语义层次管理与面向部件层次

的动态行为特征,明晰建筑内部空间的多动态特征,为有效衔接室内防火的其余动态阶段——动力学模拟以及行为疏散提供可行的动态分析基础。

### 3 结 语

面向室内火灾动态疏散的三维建筑信息模型,充分顾及建筑防火应急需求与高层次建筑语义知识,结合建筑内部空间-建筑部件-建筑开口三个核心语义特征作为内部防火空间划分及其逻辑关系一体化管理的基准;并基于防火部件层次的行为特征分析,使其具有智能的动态分析能力,为建筑内部空间划分与疏散网络的动态分析提供重要补充。下一步工作将结合多源传感信息与动态过程模拟,发展室内火灾的重点区域动态更新与反馈的三维动态模型。

#### 参 考 文 献

- [1] Lee J. GIS-based Geocoding Methods for Area-based Addresses and 3D Addresses in Urban Areas [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2009, 36(1): 86-106
- [2] Lee J, Zlatanova S. A 3D Data Model and Topological Analyses for Emergency Response in Urban Areas, in *Geospatial Information Technology for Emergency Response*[M]. London: Taylor & Francis Group, 2008: 143-168
- [3] Kwan M P, Lee J. Emergency Response after 9/11: the Potential of Real-time 3D GIS for Quick Emergency Response in Micro-spatial Environments [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29: 93-113
- [4] Ruppel U, Schatz K. Designing a BIM-based Serious Game for Fire Safety Evacuation Simulations [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2011, 25(4): 600-611
- [5] Boguslawski P, Gold C. Construction Operators for Modelling 3D Objects and Dual Navigation Structures, in *3D Geo-Information Sciences*[M]. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009: 47-59
- [6] Anagnostopoulos C. OntoNav: A Semantic Indoor Navigation System[C]. The 1st Workshop on Semantics in Mobile Environments (SME05), Ayia, 2005
- [7] Diehl S. Investigation of User Requirements in the Emergency Response Sector: the Dutch Case[C]. Proceedings of the Second Symposium on Gi4DM, India, 2006
- [8] Hyeyoung K, Chulmin J, Hyunjin Y. A SDBMS-Based 2D-3D Hybrid Model for Indoor Routing[C]. in *Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware, MDM'09, the Tenth International Conference*, Taipei, 2009
- [9] OGC. OpenGIS® Discussion Paper: Requirements and Space-Event Modeling for Indoor Navigation [S]. OGC Aviation Domain Working Group, 2012
- [10] Kobes M. Building Safety and Human Behaviour in Fire: A Literature Review[J]. *Fire Safety Journal*, 2010, 45(1): 1-11
- [11] Isikdag U, Underwood J, Aouad G. An Investigation into the Applicability of Building Information Models in Geospatial Environment in Support of Site Selection and Fire Response Management Processes [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2008, 22(4): 504-519

## 3D Building Information Model for Facilitating Dynamic Analysis of Indoor Fire Emergency

ZHU Qing<sup>1,2</sup> HU Mingyuan<sup>3,4</sup> XU Weiping<sup>1</sup> LIN Hui<sup>3,4</sup>  
DU Zhiqiang<sup>1</sup> ZHANG Yeting<sup>1</sup> ZHANG Fan<sup>4</sup>

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

3 Shenzhen Research Institute, The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen 518051, China

4 Institute of Space and Earth Information Science, The Chinese University of Hong Kong, Shatin NT, Hong Kong, China

**Abstract:** A VGE-based, BIM/IFC information-supported and semantic analysis oriented 3D building information model is proposed for facilitating indoor fire emergency evacuation. By taking the dynamic

(下转第 872 页)

Then, feature points are extracted by using improved Harris algorithm neighbor information around these points is described using color invariant value as input information. Finally, the points between two images are matched using correlation coefficient. To demonstrate the feasibility of approach, experiments with groups of street view images compared with the traditional SIFT algorithm. show that the proposed algorithm can not only intensive match points, higher matching correct rate speed validity.

**Key words:** color invariant; scale invariant; feature extraction; image matching; street view images

**First author:** HE Peipei, PhD candidate, specializes in the processing of remote sensing image and digital photogrammetry. E-mail: he\_pei@whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Key Technology Research and Development Program of China, Nos. 2012BAH34B02, 2012BAJ15B04, 2011BAH12B03.

.....  
(上接第 766 页)

behavior reasoning of building components into account, the model extends the semantic classification AVGE-based, BIM/IFC information-supported and semantic analysis oriented 3D building information model is proposed for facilitating indoor fire emergency evacuation. By taking the dynamic behavior reasoning of building components into account, the model extends the semantic classification oriented to indoor fire and considers “fire compartments-building components - building entrances” as a basis of the 3D topological representation for identifying escape spaces avoiding dangerous area. Experimental analysis proves the model has a potential to provide effective support for dynamic indoor fire emergency evacuation.

**Key words:** 3D building information model; indoor fire emergency; intelligent building components; dynamic emergency evacuation

**First author:** ZHU Qing, PhD, professor. His research interest include 3D dynamic GIS. E-mail: zhuq66@263.net

**Corresponding author:** HU Mingyuan, PhD, associate researcher. E-mail: humingyuan@gmail.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41101370, 41371388; the National High Technology Research and Development Program of China (863), Nos. 2012AA121401, 2013AA122301; the Open Research Fund of Key Laboratory of Disaster Reduction and Emergency Response Engineering of the Ministry of Civil Affairs, No. LDRERE20120302.