

基于 CFAST 的建筑物火灾中烟气模拟的实现

杜 鹏, 黄有群

(沈阳工业大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110178)

摘 要:传统的消防预案无法充分和直观地表现建筑物空间结构,火灾模拟可以在一定程度上满足对火灾预测的需求。在火灾数值模拟方法中,区域模拟方法有其独有的优势,它对计算机硬件要求较低,计算结果与实验结果符合的较好。以 CFAST 为代表的区域模拟软件得到了广泛应用,但是 CFAST 的操作复杂,模拟结果无法显示烟气浓度。对 CFAST 接口标准进行分析,将三维建筑物建模软件作为 CFAST 的建模工具,并将 CFAST 数值模拟结果显示在该软件的建筑物模型中。可以动态显示出不同时刻烟气浓度,弥补了 CFAST 在可视化方面的不足,为消防人员制定火灾救援预案提供参考。

关键词:CFAST; 烟气; 区域模拟; 建筑物火灾

中图分类号: TP311

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)02-0240-03

Implementation on Gas Simulation in Building Fire Based on CFAST

DU Peng, HUANG You-qun

(School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110178, China)

Abstract: Traditional fire rescue scheme can't display the structure of building adequately and intuitively. Fire simulation can be satisfied with the need of fire forecast to some extent. Among the method of fire numerical simulation, zone modeling has some advantages, for example, it needs less support of computer hardware and its computing result consists with the experiment result well. Zone modeling software, which takes CFAST as representative, is used widely. But its operation is complex and its simulation result can't display gas thickness. According to analyzing the interface standard of CFAST, a software of three-dimensional building modeling is used as CFAST's modeling tool, in which the result of CFAST numerical simulation displays. Through the combination of the software and CFAST, it can show different moment of gas thickness, remedy the deficiency of CFAST on visualization, provide reference for firefighters to establish fire rescue scheme.

Key words: CFAST; gas; zone modeling; building fire

0 引 言

城市中,随着人口的增长和建设步伐的加快,建筑物的密度越来越大,火灾隐患也大大增加,火灾已经成为一种频繁发生的城市灾害。火灾的危害主要来自两个方面:其一是火焰的蔓延导致生命财产被吞噬;其二是烟气的快速、大面积扩散导致被困人员由于缺氧窒息而死。消防部门的统计数据显示,火灾中由于窒息致死或被有毒气体毒死的死亡人数占火灾中总死亡人数的 60% 以上。所以,对烟气扩散模拟方法的研究不但可以动态显示烟气扩散过程,还可以反映出不同区域烟气的浓度,继而为消防人员制定火灾救援预案提供依据。

消防预案可以帮助消防部门在火灾发生时迅速制订合理的作战方案。传统的消防预案主要采用纸质档案或电子文档,火灾发生后现场指挥员从文档中获取建筑物的信息,了解建筑物的位置、内部结构、疏散出口和消防设施等情况,研究可能的起火情形及相应的灭火预案。但是传统的消防预案主要通过文字与二维平面图描述建筑物的相关信息,对一些内部结构复杂的建筑物,难以充分和直观地表现内外部的结构特点,更无法描述火势和烟气在建筑物内部的发展和蔓延过程。同时,传统的消防预案还缺乏足够的分析功能,难以对火势、烟气的蔓延进行即时分析和预测。基于虚拟现实技术的火灾可视化方法能够弥补消防预案的这些不足。

目前火灾可视化的研究可以分为两类:一类是基于火灾数值模拟软件的火灾可视化研究,例如邵刚等提出的非矩形边界隧道的自动建模方法,使用矩形方块拟合圆弧墙或斜线墙的算法,通过可视化绘图软件

收稿日期:2008-06-17

基金项目:沈阳市科学技术重点计划项目(1032035-1-03)

作者简介:杜 鹏(1984-),男,辽宁鞍山人,硕士研究生,研究方向为计算机图形学;黄有群,硕士,教授,研究方向为图形学与 CAD 等。

来自动生成火灾模拟软件 FDS(Fire Dynamics Simulator)的输入数据,解决了在 FDS 中对非矩形边界隧道的建模问题^[1];又如陈驰等提出的基于虚拟现实的建筑火灾模拟系统,根据火灾模拟软件 FDS 的计算结果,利用纹理贴图和粒子系统等技术实现了逼真的火灾场景可视化。这类方法的优点是能够比较准确反映火场真实情况,局限在于不同方法只能针对特定场景模型。还有一类方法是基于建模方法的火灾可视化研究,例如费少梅等提出的基于粒子的湍流燃烧火焰的可视化方法,通过将温度场与湍流流场有机结合,实现了湍流燃烧火焰的三维动态传播可视化^[2]。但是这类方法的局限在于不能反映火场真实情况。

为了能够准确表现烟气在建筑物火灾中的扩散现象,文中在分析火灾数值模拟软件 CFAST 的优点和不足的基础上,提出一种将建筑物建模软件与 CFAST 相结合的动态显示烟气浓度的方法。

1 CFAST 无法得到推广的原因

1.1 CFAST 的原理

区域模拟方法一般将每个房间分为上下两个区域,即上部的热烟气层和下部的冷空气层,并假设每个区域内部各物理量,如温度、密度、气体浓度等状态参数都是均匀的。根据各物理量之间的相互关系及质量、能量守恒原理导出一组常微分控制方程,通过解这组方程来预测火灾状态参数(如压力、温度、体积等)随时间的变化情况^[3]。

由美国标准与技术研究所 NIST(National Institute of Standards and Technology)开发的数值模拟软件 CFAST 就是基于这种区域模拟理论而开发的、对一个多房间结构建筑环境的火灾进行预测的区域模拟工具。它通过划分子区域的方法,计算出在一场火灾中随着时间的推移烟气浓度的变化,模拟烟气在大空间内的填充过程,即烟气在一个区域内填充完成后,向另一个区域蔓延扩散的过程^[4]。

1.2 CFAST 的不足

CFAST 软件的优点是明显的:深刻理解软件中输入数据的物理性质的专家学者应用 CFAST 软件模拟结果的误差基本在许可范围之内^[5]。但是它的不足也很突出:

(1)界面不够友好,它采用人工输入数据的方式,导致普通用户无法快速对房间进行建模;

(2)CFAST 自身的模拟软件无法表现不同时刻烟气浓度,只能通过专家对数值模拟结果进行二次分析,才能得出结论。

它的这些缺点导致了普通用户无法掌握它的使用

方法,进而导致它无法得到推广。

2 基于 CFAST 的烟气扩散模拟方法

2.1 CFAST 的输入输出接口

CFAST 所需的建筑物结构信息是从一个类型为 IN 的文件中获取的。而且 CFAST 的模拟结果被保存在一个 OUT 类型文件中,可以将这两个文件分别作为 CFAST 的输入输出接口,与建筑物建模软件建立一种通信关系。

2.2 IN 类型文件的生成

在生成文件之前,需要对建筑物结构进行建模,文中采用建模工具<<建筑物三维消防档案生成系统>>^[6]来代替 CFAST 自身的建模软件。

<<建筑物三维消防档案生成系统>>采用了一种二维转三维的场景生成方法,允许用户使用鼠标在二维坐标下设计建筑物一个楼层的平面结构图,然后,系统为它加上高度信息,生成对应的三维坐标系下的一个楼层。这种建筑物结构图绘制方式与普通结构图绘制方式不同,普通结构图绘制方式以整个建筑物为单位进行绘制,但是本系统采用的方法必须以房间为单位进行绘制,因为以整个建筑物为单位进行绘制的方法没有房间的概念,而 CFAST 是以房间为单位对火灾进行预测的。

例如,绘制图 1 的建筑物平面图,首先选择“绘制新房间”选项,目的是通知系统记录下该房间的结构信息,以便生成对应的房间结构信息文件,然后在平面图中绘制一个房间,再选择该菜单,绘制下一个房间,依次循环,直到绘制工作结束,图 2 为图 1 对应的立体图。

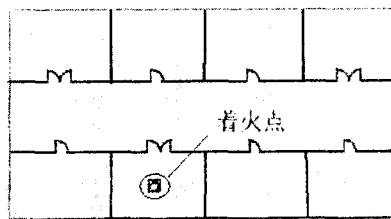


图1 楼层设计图

当建筑物模型绘制成功后,下一步就是将该模型导出到文件中。以下是一个包含图 1 建筑物结构信息的文件的部分内容。

```
VERSN,6,CFAST Simulation
!!
!! Environmental Keywords
!!
TIMES,900,-50,0,10,10
```

```
EAMB,293.15,101300,0
TAMB,293.15,101300,0,50
CJET,WALLS
CHEM1,10,393.15
WIND,0,10,0.16
!!
!! Compartment keywords
!!
COMPA,Compartment 1,3.6,2.4,2.4,0,0,0,GYPSUM,OFF,
GYPSUM
!!
```

这个文件包含了模拟时间等信息,并且包含了建筑物结构信息。“Compartment”表示房间,后面包含了房间的长宽高、位置等信息。《《建筑物三维消防档案生成系统》》将模拟结果按上述格式生成文档,就可以被 CFAST 调用。

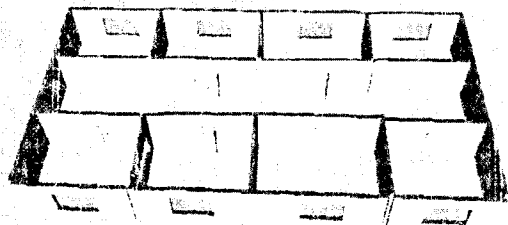


图 2 楼层的立体图

2.3 OUT 类型文件中烟气浓度信息的获取

当利用 CFAST 完成数值模拟计算后,需要从生成的 OUT 类型文件中读取关于烟气浓度的信息,以下是一段关于烟气浓度信息的描述。

```
Time = 850.0 seconds
Upper Layer Species
Compartment  N2  O2  CO
              (%) (%) (%)
1             78.4 0.00 11.1
```

这段信息的含义是:在 850s 时,房间 1 的上层空间的 N₂、O₂、CO 的浓度是 78.4%、0.00% 和 11.1%。由于烟雾的主要成分是 CO,而 CO 浓度的高低大体能代表烟雾浓度大小,所以本方法为了谋求计算简单,以 CO 浓度作为烟气浓度。

2.4 烟气的动态显示

本方法将 CFAST 数值模拟结果显示在《《建筑物三维消防档案生成系统》》中,将显示重点放在烟气浓度上。在烟气的表现上,采用基于粒子系统的烟气建模方法。粒子系统是一组或多组能够不停旋转的粒子群,它非常适合模拟不规则物体的视觉效果^[7]。本方法提取出不同时刻 CO 的浓度,根据浓度大小确定烟气粒子数量的多少和扩散速度。

3 模拟结果比较

以图 2 为例,利用 CFAST 对发生在该建筑物内的火灾进行数值模拟。模拟时间 900s,结果显示时间是 90s,即在 90s 内显示烟气在 900s 内的扩散现象。图 3、4、5 为本方法的模拟结果,图 6 为 CFAST 的模拟结果。从中可见,CFAST 的模拟结果能够表现各个房间温度变化,而本方法能够表现烟气扩散范围。所以,本方法能够对 CFAST 可视化功能起到补充作用。

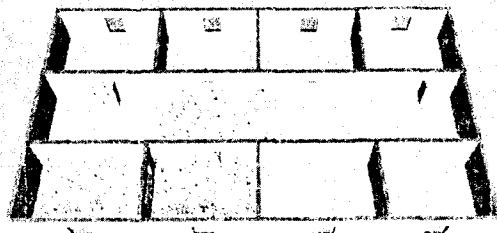


图 3 $t = 100s$ 时烟气扩散画面

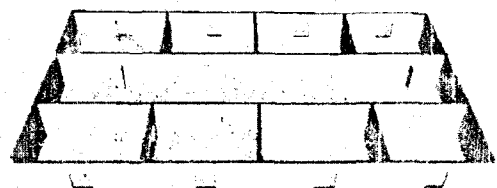


图 4 $t = 400s$ 时烟气扩散画面

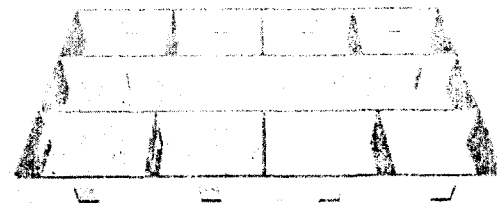


图 5 $t = 800s$ 时烟气扩散画面

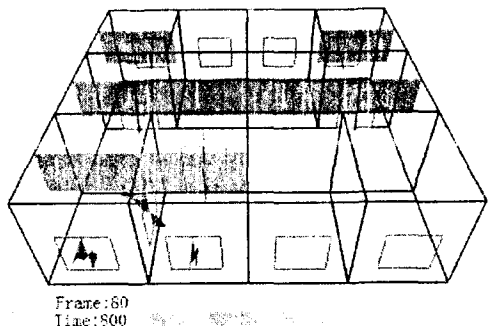


图 6 $t = 800s$ 时 CFAST 自身模拟结果画面

(下转第 246 页)

播时间和速度计算出与信标节点之间的距离,并广播信息(图 b);

(3)任意三个(或三个以上)相邻的信标节点获得与目标节点的直线距离(或用节点之间的跳段距离作为直线距离的近似值)后,利用极大似然法(或其它方法)计算目标节点的坐标(图 c)。最后对求得的坐标进行修正,以减少误差。

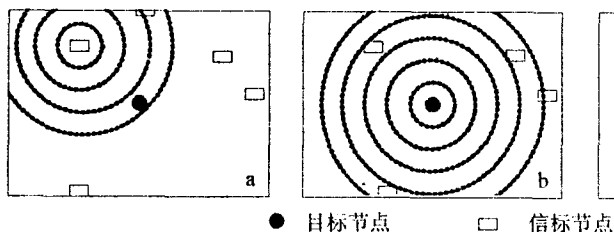


图 4 系统定位实现过程

3 结束语

ZigBee 技术弥补了低成本、低功耗和低速率无线通信市场的空缺,其成功的关键在于丰富而便捷的应用,而不是技术本身。在分析 ZigBee 技术的基础上,提出了基于 ZigBee 协议的井下人员定位系统的设计方案,该体系更加适应井下环境恶劣、人员活动分散的特点,重点研究了后端无线传感器网络的定位技术。系统除了可用于井下人员定位外,还可用于人员调度、人员考勤,以便于矿井生产管理,具有较好的市场前景。

参考文献:

- [1] 张清毅,朱建铭.透地通信信道特性的研究[J].电波科学

学报,1999,14(1):36-40.

- [2] 高永清,商丹,张昔平.感应通信式矿用馈电状态传感器研究[J].传感技术学报,2007,20(5):1038-1041.
 [3] 赵金明,毛宝霞,吴光润.矿井无线漏泄通信系统在煤矿的应用[J].矿山机械,2005,33(3):119-119.
 [4] 刘永平.红外技术在煤矿井下测温和测气中的应用研究[J].红外技术,2000,22(4):59-62.
 [5] ZigBee Alliance, Inc. ZigBee specification v1.0[M]. San Samon:[s. n.],2005.
 [6] 刘圆,朱华.基于 Zigbee 技术的煤矿安全监控系统[J].工矿自动化,2007(4):1-3.
 [7] 顾瑞红,张宏科.基于 ZigBee 的无线网络技术及其应用[J].电子技术应用,2005(6):1-3.

- [8] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS - Less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000,7(5):28-34.
 [9] Karl H, Willing A. 无线传感器网络协议与体系结构[M]. 邱天爽,唐洪,李婷,等译.北京:电子工业出版社,2007.
 [10] 孙利民,李建中,陈渝,等.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.
 [11] 蒋峰峰,王汝传,孙力娟.基于移动 Agent 无线传感器网络节点自定位算法[J].计算机技术与发展,2007,17(6):1-4.
 [12] 韩屏,李方敏,吴学红.一种基于无线传感器网络的实用性地下坑道定位方法[J].传感技术学报,2007,20(10):2313-2318.

(上接第 242 页)

4 结束语

文中分析了 CFAST 在用户界面和模拟结果方面的不足,提出了这种烟气扩散模拟方法,由于 CFAST 是一款自由软件,这为本方法的推广提供了便利。但是,也存在一些不足,例如只能通过接口文件的形式与 CFAST 进行通信。如何使接口设计的更加合理,将是未来工作的重点。

参考文献:

- [1] 邵刚,杨培中,金先龙.FDS 中非矩形边界隧道的自动建模[J].计算机工程与应用,2005(36):213-216.
 [2] 费少梅,彭艳莹,陆国栋,等.基于粒子系统的湍流燃烧火焰的可视化研究[J].计算机辅助设计与图形学学报,

2005,17(3):461-466.

- [3] 高宇飞,程远平,刘静.火灾区域模型中压力方程的求解[J].消防科学与技术,2005,24(5):550-553.
 [4] Bukowski R, Séquin C. Interactive Simulation of Fire in Virtual Building Environments[C]//Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics. USA: ACM, 1997:35-44.
 [5] 舒中俊,孙华玲.火灾区域模拟原理及 CFAST 软件应用[J].武警学院学报,2004,20(2):30-32.
 [6] 刘小燕.高层大型建筑三维消防档案建模技术的研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2005.
 [7] Reeves W T. Particle System - A Technique for Modelnig a Class of Fuzzy Objects[J]. ACM Transaction on Graphics, 1983,2(2):91-108.