

校园火灾安全疏散模型

鲁 静

(湖北第二师范学院 计算机学院 武汉 430205)

摘 要: 本文以校园火灾环境为平台,提出一种安全疏散模型。该模型基于图的广度优先遍历和弗洛伊德算法计算每个建筑的危险程度,利用迪杰斯特拉算法搜索用户当前位置到各个疏散出口的最短路径,综合每个建筑的危险度和最短路径的长度计算了疏散代价函数,最终获得最安全、最高效的最优疏散路径。本文提出的模型不仅适用于校园环境,也对各类景区、城市交通等更加复杂环境下的安全疏散有一定的借鉴意义。

关键词: 安全疏散;图结构;最短路径

中图分类号: TP311.12

文献标识码: A

文章编号: 1674-344X(2012)02-0053-03

基金项目: 湖北第二师范学院创新团队建设计划和湖北优秀青年创新团队建设计划。

作者简介: 鲁 静(1981-),女,湖北武汉人,讲师,研究方向为模式识别与图像分析、图像处理系统、计算机软件。

随着社会的发展,人们对生命的重视程度日益增强,对于大型公共场所临灾情况下人员疏散问题的研究也越来越有实际意义。当一个人数众多、环境复杂的校园内发生火灾、地震、暴乱等公共突发性事件时,很多人由于环境陌生、心理恐慌等原因没有选择正确的疏散路径而导致受伤甚至丧生。因此,开发一种安全可靠的、用以指引学生快速有序疏散到校外的应急疏散系统就显得尤为重要。此类系统不仅能够快速正确地搜索出最佳疏散路径,同时还要能够将其直观、真实的展示出来。基于以上需求,我们利用虚拟现实技术,设计了校园三维实景应急疏散指引系统。该系统在用户指定了火灾等危险发生地点后,利用计算机图结构和快速算法迅速地建立安全疏散的数学模型、搜索最优疏散路径,并以三维实景导航的方式展示疏散路径和沿途的建筑物,让学生安全、迅速地逃生。本文将介绍该系统所使用的安全疏散模型,以及最优疏散路径的搜索方法。

目前已有很多学者研究了各种环境下的安全疏散模型。郭勇^[1]通过分析高层建筑火灾特性,建立了完善合理的安全疏散行动时间预测数学模型,并编制了用于人员疏散行动时间预测的应用软件,计算了人员疏散行动时间,并对安全疏散设计进行评价;彦寓、蒋军成^[2]利用网络优化计算方法建立地铁火灾人员安全疏散的模型,评估了地铁火灾疏散设计的安全性;梅志斌、董文辉^[3]等人建立了火灾建筑物智能疏散路径优化的自适应蚁群算法数学模型,解决了传统蚁群算法在加速收敛和防止早熟及停滞现象之间的平衡问题,适用于建筑物火灾时人员疏散路径优化问题;张鹏、朱昌明、杨广全^[4]针对传统高层建筑楼梯应急疏

散的弊端,建立了高层建筑垂直应急疏散系统的仿真模型,并进行了仿真实验研究,其结果可以反映人群的拥挤和电梯行驶等基本现象,对电梯应急疏散系统的评价和高层建筑应急预案的设计有一定参考作用;陈晋、张盼娟^[5]等人根据系统动力学原理,应用 STELLA 系统软件,建立了基于粗网络模型的人员疏散模型,并以影剧院发生火灾为例,分析了采取不同疏散策略所产生的避难效果差异,找出了最佳的疏散策略。他们提出的研究方法和建立的模型,对于合理设计疏散路线和优化建筑物的出口与通道结构具有一定的实用价值。综上所述,目前的安全疏散模型多集中在解决建筑物内部的安全疏散问题,对于室外模型涉及较少。本文将专门针对室外环境建立安全疏散模型,填补室外火灾疏散方案的空白。

1 校园的图结构表示方法

由图结构的定义^[6]可知,图结构可以清晰的表示和存储校园的各个建筑以及它们之间的关系。以某高校的主要建筑为例,抽象完成的无向网如图 1 所示^[7]。全校共 28 个建筑,39 条道路,各建筑分别用图中的顶点表示,建筑编号从 0-27(如 0 表示学校西南门,1 表示学校南大门,7 表示艺术系教学楼,18 表示二食堂,21 表示教工宿舍等);39 条道路分别用图中的边表示,边上的权值表示建筑之间的距离,单位为米。

2 图的广度优先遍历与各建筑(图顶点)危险度的计算

在获得了校园的计算机表示后,我们需要在此基础上自动生成最佳疏散路径,用来指导用户进行紧急

收稿日期: 2012-01-05

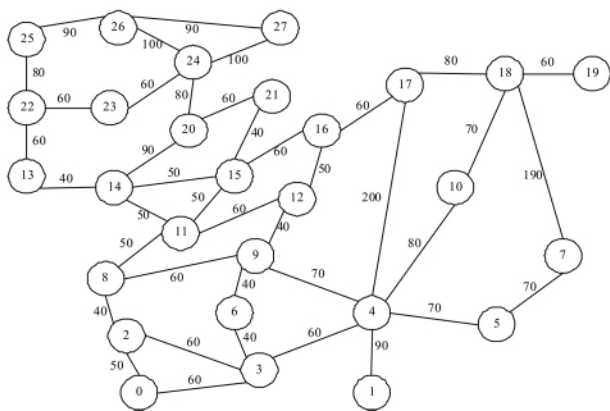


图1 某高校各建筑的无向带权图

疏散^[8]。所谓最佳疏散路径,应该是一条能使用户以最安全、最迅速的方式离开危险地域,到达校外的路径,因此需要综合考虑用户当前所在位置与校园出口各连线的安全程度和距离^[9]。我们采用图的广度优先遍历各个顶点,一边遍历一边计算各个顶点的危险度,直至遍历完成,从而得到所有顶点的危险度数值。不难看出,各建筑(图顶点)的危险度和该顶点与起火点之间的距离成反比,离起火点越近,危险度越高;反之,危险度越低。假设起火点编号为 v_0 ,离起火点最近的顶点编号为 v_1 ,用 λ_{v_i} 表示顶点 v_i 的危险度,则 λ_{v_i} 定义为:

$$\lambda_{v_i} = \begin{cases} \infty & \text{if } i = 0 \\ 1 & \text{if } i = 1 \\ \frac{d_{v_0 v_1}}{d_{v_0 v_i}} & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $d_{v_0 v_1}$ 表示顶点 v_0 与顶点 v_1 之间的距离, $d_{v_0 v_i}$ 表示 v_0 与顶点 v_i 之间最短路径的长度。不难看出,除了起火点自身之外的各点的危险度在 $0 \sim 1$ 之间,即 $0 < \lambda_{v_i} \leq 1$ (当 $i \neq 0$)。

下面讨论 $d_{v_0 v_1}$ 和 $d_{v_0 v_i}$ 的计算方法。当使用广度优先搜索来遍历图时,选取起火点 v_0 为起始顶点,那么遍历的下一个顶点一定是 v_1 ,因此 $d_{v_0 v_1}$ 十分容易得到。当 $i \neq 0, 1$ 时,需要搜索顶点 v_0 与顶点 v_i 之间的最短路径 $d_{v_0 v_i}$,采用弗洛伊德算法^[6]可以很容易地求得 $d_{v_0 v_i}$,本文不再赘述。

3 迪杰斯特拉算法与最短路径

在疏散过程中,在保证人员安全的前提下,应尽量选择最短的路线以节约时间^[10]。因此,我们需要综合考虑疏散路径的长度和路径的危险程度,合理选择疏散出口,以求得到最优的疏散路径^[11]。迪杰斯特拉算法被用于搜索一对顶点之间的最短路径,故能方便地求解最小时间代价的最优疏散路径^[12]。

以第 i 个出口 v_i ($i = 1, 2, \dots, n$)为例。假设当前位置 v_0 和 v_i 之间的最短路径途径的顶点为 $v_0 \rightarrow w_1 \rightarrow w_2 \rightarrow \dots \rightarrow w_k \rightarrow v_i$,按照公式(1)计算每个顶点的危险度 $\lambda_{v_0}, \lambda_{w_1}, \lambda_{w_2}, \dots, \lambda_{w_k}, \lambda_{v_i}$ 。定义此条路径的危险度为

各个顶点危险度的总和,即

$$\lambda_{v_0 v_i} = \lambda_{v_0} + \sum_{j=1}^k \lambda_{w_j} + \lambda_{v_i} \quad (2)$$

同法可求 v_0 到每个出口的最短疏散路径的危险度 $\lambda_{v_0 v_1}, \lambda_{v_0 v_2}, \dots, \lambda_{v_0 v_n}$ 。取

$$\lambda_{v_0 v_i}^* = \frac{\lambda_{v_0 v_i}}{\max\{\lambda_{v_0 v_j} \mid j = 1, 2, \dots, n\}} \quad (3)$$

$\lambda_{v_0 v_i}^*$ 为归一化后的最短路径危险度,取值在 $0 \sim 1$ 之间。

下面考虑 v_0 到各个出口之间的距离。在第2节我们得到了 v_0 到各个出口 v_1, v_2, \dots, v_n 的最短路径长度 $d_{v_0 v_1}, d_{v_0 v_2}, \dots, d_{v_0 v_n}$ 将其进行归一化

$$d_{v_0 v_i}^* = \frac{d_{v_0 v_i}}{\max\{d_{v_0 v_j} \mid j = 1, 2, \dots, n\}} \quad (4)$$

定义疏散代价函数为^[13]

$$S_{v_0 v_i} = \alpha \cdot \lambda_{v_0 v_i}^* + \beta \cdot d_{v_0 v_i}^* \quad (5)$$

其中 α 和 β 为权值,可根据实际需要选取。如疏散安全需求高于疏散速度需求,可取 $\alpha = 1, \beta = 2$ 。使疏散代价函数 $S_{v_0 v_i}$ 最小的疏散路径就是所求的最优疏散路径。

4 结论和下一步的工作

本文以校园火灾环境为平台,提出一种安全疏散模型。该模型用计算机图结构描述校园环境,并利用图的遍历、搜索算法获得最安全、最高效的最短疏散路径,对各类景区、城市交通等复杂环境下的安全疏散有一定的借鉴意义。本文还存在以下需要改进的地方:

(1) 在搜索最优疏散路径时,考虑了人员安全与疏散速度两个方面的因素。然而在实际中还存在很多影响疏散效率的因素,如道路的通过性、人员的密集程度等等^[13]。因此,下一步还需要在疏散代价函数中加入更多的影响因子以完善整个搜索算法。

(2) 疏散代价函数中权值的设定带有一定的主观性,如何根据校园环境自动生成自适应的权值也是下一步需要思考的问题。

参考文献:

- [1] 郭勇. 高层建筑火灾状况下安全疏散性状研究[D]. 重庆大学硕士毕业论文, 2001.
- [2] 彦寓, 蒋军成. 地铁火灾人员疏散的研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, (7): 26-31.
- [3] 梅志斌, 董文辉, 等. 张云栗建筑物火灾中人员疏散路径优化自适应蚁群算法[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2008, (4): 671-674.
- [4] 张鹏, 朱昌明, 等. 高层建筑垂直应急疏散系统的仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1226-1229.
- [5] 陈晋, 张盼娟, 等. 基于系统动力学模型的影剧院人员疏散策略[J]. 自然灾害学报, 2005, (6): 125-132.
- [6] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构(C语言版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

[7] 阮宏一,鲁静. 数据结构课程设计(C/C++ + 描述) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.

[8] Li Silas K L, Kennedy W D. CFD analysis of station fire conditions in Buenos Aires subway [J]. ASHRAE Transactions, 1999, 105(1) : 410-413

[9] Taniguchi E., Shimamoto H. Intelligent Transportation System Based on Dynamic Vehicle Routing and Scheduling with Variable Travel Times [J]. Transportation Research Part C, 2004, 12(1) : 235-250.

[10] 陆君安,方正,卢兆明,赵春梅. 建筑物人员疏散逃生速度的数学模型 [J]. 武汉大学学报(工学版), 2002, 35(2) : 66-70.

[11] 宋卫国,于彦飞,陈涛. 出口条件对人员疏散的影响及其分析 [J]. 火灾科学, 2003, 12(22) : 100-104.

[12] 张艳芳,袁静,王福昌,赵宜宾,赵永安. 人口密集场所紧急疏散问题中的速度模型 [J]. 数学的实践与认识, 2010, 40(1) : 122-126.

[13] Smith B. L., Williams B. M., Oswald R. K., Comparison of Parametric and Nonparametric Models for Traffic Flow Forecasting [J]. Transportation Research Part C, 2002, 10(10) : 303-321

Fire Safety Evacuation Model for Campus

LU Jing

(School of Computer Sciece , Hubei University of Education , Wuhan 430205 , China)

Abstract: We take the campus environment as a platform , compute the criticality of each building in the campus based on graph breadth-first traversal and Floyd algorithm , and use Dijkstra algorithm to search the shortest route from the user’s current position to all evacuation exports. Considering the building criticality and shortest route , we compute the evacuation cost function , and finally obtain the safest and most efficient emergency evacuation route. It is instructive to emergency evacuation of all kinds of complicated situations.

Key words: safe evacuation; graph structure; shortest path