

基于智能体方法的人群疏散三维仿真

吴智威,刘东峰,程 昱,孙粤辉

(广东工业大学 信息工程学院,广东 广州 510006)

摘 要:研究建筑物在不同出口条件设置下人员的安全疏散问题。针对人群仿真中如何计算疏散路径问题,文中采用导航图技术和 agent 技术来对个体进行疏散路径的规划。同时为表现人群运动过程当中个体之间的相互碰撞问题,结合碰撞规避规则进行穿透矫正。并且采用三维引擎 Delta3D 在 VC++ 9.0 环境下进行仿真并搭建了一套三维人群运动模拟平台。最后分别在三种不同出口条件下的虚拟场景中进行仿真。对比仿真结果表明该平台能直观地展现整个人群疏散的运动过程,并能够对建筑物出口安全设计的合理性提供有效的数据依据。

关键词:人群模拟;碰撞规避;疏散仿真;智能体

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)11-0108-05

Three-dimensional Crowd Simulation of Agent-based Method

WU Zhi-wei, LIU Dong-feng, CHENG Yu, SUN Yue-hui

(College of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Study the subject of evacuation in buildings under different exits installed. Against the evacuation path problem of crowd simulation, adopt navigation graph and agent method to solve the planning of individual path finding problem. Simultaneously in order to exhibit the collision problem in the evacuation process, built several rules to correct the penetration. At the same time use Delta3D built a complete three-dimensional crowd simulation platform under VC++9.0 IDE. At last tested three different exits conditions of different virtual environments. The simulation results show that this platform can thoroughly exhibit the movement of whole crowd, and can provide efficient data for the design of exits.

Key words: crowd simulation; collision avoidance; Delta3D; evacuation simulation; agent

0 引 言

随着中国城市化进程的加快,大型建筑在各大中小城市迅速拔地而起。同时,城市的人口密度越来越大。因此当紧急情况发生时,人群如何快速、有效、安全地从大型建筑物疏散一直是热点研究问题。以往传统的人员疏散演练都是采用真人参与,实地演练,这种方法对于人力与物力的开销较大,不适合经常重复进行。随着计算机仿真技术的发展,计算机群体模拟近年来已逐渐成为各国科学家研究城市公共安全的热点课题。

国外对群体行为的模拟研究起步较早,最初可以追溯到 1985 年 Susan Amkraut 展示的鸟群模拟效果^[1],以及 Craig W. Reynolds 在此基础上提出的

Boids 模型^[2]。并且也开发了商用阶段的仿真软件 EXODUS^[3]、simulex^[4]等。国内虽然相对国外起步较晚,但也提出了较多研究模型,如方正等的“网格模型”^[5]、中国科学技术大学火灾科学国家重点实验元胞自动机模型的方法^[6]、中科院计算机研究所开发的人群模拟系统——Guarder^[7]等等,其中中科院开发的系统较为完善,其在超大规模模拟有较大优势。而其他的模型则常常以点或圆来表示人群疏散当中的个体。

群体模拟主要分为宏观模型与微观模型,由于大规模的人群运动类似于水流的运动,因此就有 Hughes^[8]提出将流体力学应用于群体模拟,以及之后在此基础上又衍生出的势能场^[9,10]模型。这些方法的优点在于可以掌握群体运动的全局状态,在超大规模的人群模拟有突出表现。在微观模型中使用的较多的有:基于规则的模型、社会力模型、元胞自动机模型^[11]、Agent 模型^[12]。

宏观模型当中的人群通常以一个整体的形式予以描述,个体之间的博弈以及冲突问题难以表现。基于规则的模型很难全面模拟群体行为。社会力模型当中

收稿日期:2012-03-02;修回日期:2012-06-05

基金项目:广东高校优秀青年创新人才培养计划项目(LMY09069);广东省教育部产学研结合项目(2009B090300401)

作者简介:吴智威(1987-),男,江西鹰潭人,硕士研究生,研究方向为三维仿真;刘东峰,教授,硕士研究生导师,研究方向为计算几何、三维信息处理及可视化仿真。

由于力的参数选择范围较大,因此各种力之间较难平衡,较难得到平滑的运动轨迹。元胞自动机模型中的个体仅局限于固定大小的网格当中,个体的移动受限与邻近的网格,对于个体之间的碰撞较难模拟。Agent 模型当中个体的各种特点,如自治性、社会性、反映性、能动性非常适合模拟人群当中个体之间的相互作用。因此考虑将 Agent 技术应用到人群仿真当中。由于传统二维仿真当中个体之间相互作用的方式只能以数据的形式展现,缺乏直观性,所以结合角色动画与三维可视化技术来对人群进行仿真迫切需要。

文中研究将 Agent 方法对人群模拟当中的个体进行建模,并利用 Delta3D 引擎构建程序框架。在考虑到人群疏散过程中的个体运动的行为特点,结合 Astar 算法对疏散路径进行优化,得到更真实的运动轨迹。同时结合基于几何方法的碰撞规避规则,避免个体之间的穿透,并展现疏散过程中个体之间的相互作用。最后利用该平台对三种不同出口条件下的疏散过程进行仿真,探索各种出口条件下人群疏散的时间规律。结果表明该仿真系统对于建筑物当中人员安全疏散能从多个尺度进行展示,并提供数据作为评估依据。

1 人群模拟技术原理

1) 虚拟环境的建立。利用三维建模软件 3ds max 对环境及人群动画进行建模。采用专业的三维建模软件用以提高仿真效果的真实性^[13,14]。

2) 导航图的建立与路径优化。根据计算几何学的思想,根据虚拟的三维模型生成全局导航图。对每个个体设定起始点与终点,结合 Astar 寻路算法,在导航图当中将多个节点连接可以得到一条两点之间的最短路径,根据不同的疏散环境对个体设定起始速度,通过对疏散过程当中个体发生的碰撞做出反应,使个体速度发生改变,最终沿此路径到达终点。针对采用导航图方法的人群模拟程序时,Astar 算法得出的路径常常会出现不合理的 Z 字型,并不符合实际疏散当中个体的运动轨迹,因此考虑到个体运动特点提出优化路径算法(详细算法见下一节),通过删除冗余的路径节点,重新计算疏散路径,将可以得到更为平滑自然的运动轨迹。

3) 群体运动过程。在人群疏散的过程当中将环境作为静态障碍来考虑,个体作为移动障碍来考虑。因此个体与环境之间、个体与个体之间的碰撞是另一个应解决的重要问题^[15]。如何表现个体之间的碰撞冲突也是仿真真实性的重要参考依据。通过建立导航图使得个体仅在导航图中行走可以提前避免个体与静态障碍的碰撞。考虑到在各种微观模型当中,Agent 方法的特点适用于人群疏散仿真,并能够表现在群体运

动过程中个体之间的相互作用以及碰撞,因此采用 Agent 方法对个体进行建模,使个体能够在较高密度情况下对个体之间的碰撞做出反应,并采用基于几何计算的判断方法对个体穿透加以矫正。

2 系统设计与实现

2.1 建立导航图与寻路算法优化

在计算几何学当中,机器人路径规划研究常常利用可视图(Visibility Graphic),通过在平面设定好节点并把每两个节点的连线作为边组成一个双向连通图,两点连线的长度作为边的权值。这样一条边则可称做一条路径。有多个节点互相连接生成的网格则称为导航图。通过设置起始位置与终点,再利用 Astar 算法可以得到一条包含多个节点的路径。

在人群模拟程序当中可以创建简单的 POV(points of vision)可视图。但这样的导航网格太过于简单,并且除了可视点连接的路径之外,其他的地方都是不可视的。通过增加节点的数量与密度,可以极大地改善这一问题,但是对于如此多的节点要产生完整的可视图,其计算量太过庞大,并且对于有诸如 10000 个节点的大型地图,就可能生成达十万路径数,其中大部分在寻路算法当中都可能用不到,因此将极大地消耗内存。根据国内专家对人体横截面大小的研究^[16],文中将两点之间的距离设置为 0.5m,由此可以生成网格均匀的导航图。

文中采用的 Astar 算法是静态网格中求解最短路径最常用也是效率最高的算法之一,使用重点在于一个估值函数 f 的设计:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

$f(n)$ 是从初始点经由节点 n 到目标点的估价函数;

$g(n)$ 是在状态空间中从初始节点到 n 节点的实际代价;

$h(n)$ 是从 n 到目标节点最佳路径的估计代价。

h 距离一般可以使用三种方法:

- (1) Manhattan: $h = x + y$ (曼哈顿距离)
- (2) Euclidean: $h = \text{hypot}(x, y)$ (欧几里得距离)
- (3) Chebyshev: $h = \max(x, y)$ (切比雪夫距离)

在机器人寻路问题当中,Astar 算法的启发函数一般采用欧几里得距离,虽然相对于深度优先搜索和广度优先搜索能够得到两点之间的最短路径,但也经常会出现不自然的 Z 字型路径,这常常发生在元胞自动机模型中个体的路径当中。这不仅不符合视觉习惯,并且也不符合人的行为习惯。

因为疏散过程中个体总是走直线以尽快到达目的地,所以对路径采用如下伪代码进行一次优化计算,删

除原先路径当中多余的节点,可以得到更为平滑自然的行走路径。两条路径相比,优化之后的路径不仅保证了是最短路径而且相比未优化之前的路径也更加平滑。

路径优化伪代码:

变量解释:PathVector 为路径点向量, $p_1 \cdots p_n$ 为路径点,ptemp 为迭代器。

输入:Astar 算法得到基于网格的路径点 PathVector[$p_1, p_2, p_3, \cdots, p_n$], p_1 为起始点, p_n 为终点。

初始化利用 Astar 算法得到基于网格的路径点 PathVector[$p_1, p_2, p_3, \cdots, p_n$], p_1 为起始点, p_n 为终点。

if p_1 与 p_n 之间智能体可以无阻碍通过, p_1 到 p_n 新建一条路径,智能体可以直接到达终点

else ptemp = p_3

for(ptemp $\rightarrow p_n$)

{ if p_1 与 ptemp 之间智能体不可以无阻碍通过, ptemp--

if p_1 与 ptemp 之间智能体可以无阻碍通过, p_1 到 ptemp 新建一条路径

if ptemp 与 p_n 之间智能体可以无阻碍通过, ptemp 到 p_n 新建一条路径

break;结束

ptemp++;

}

2.2 个体 Agent 建模与障碍规避

在群体模拟当中,个体与环境、个体与个体之间的阻碍作用是体现仿真结果真实性的重要因素。在疏散问题的研究上,个体之间的阻碍可以很好地模拟人群的密集程度。

个体之间肢体的碰撞检测的问题相

当复杂,所以常采用基于包围盒的方法对个体进行碰撞检测^[12]。基于此思想,文中将个体作为一个 Agent,并建立了感知区域如图 1 所示, r 为个体圆柱形半径, d 为碰撞区域半径,当其他个体进入 d 区域内时进行碰撞决策并进行穿透矫正, D 为个体感知区域,当其他个体进入半径为 D 的半圆形区域时, Agent 个体将根据碰撞规避规则来对碰撞做出反应。根据国外学者 Fruin 的一些研究数据一般成年人所占平面空间大约是 $0.45\text{m} \times 0.61\text{m}$ 的矩形面积。根据我国人体的体厚与肩宽测量数据;所占空间大约为 $0.25\text{m} \times 0.4\text{m}$ 。考虑到投影面积和安全区域,取一中间值即 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。

通常情况下,个体与个体之间,有保留一定距离的趋势,如果距离过近,就会产生一定的心理作用力来保

持与其他个体之间的作用力。而在实际仿真中,由于计算的误差或者碰撞规避算法的缺陷,个体之间发生碰撞后包围体不可避免地会发生穿透,因此建立如图 2 所示的碰撞规避规则以避免个体之间发生穿透。

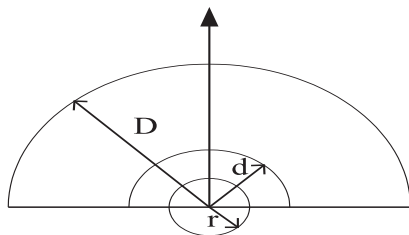


图 1 智能体的感知区域

(1) if A, B 之间的距离 $< d$ && $S\Delta_{AAB} > 0$ && $S\Delta_{BBA} > 0$ (A 在 B 的前方, B 在 A 的前方)

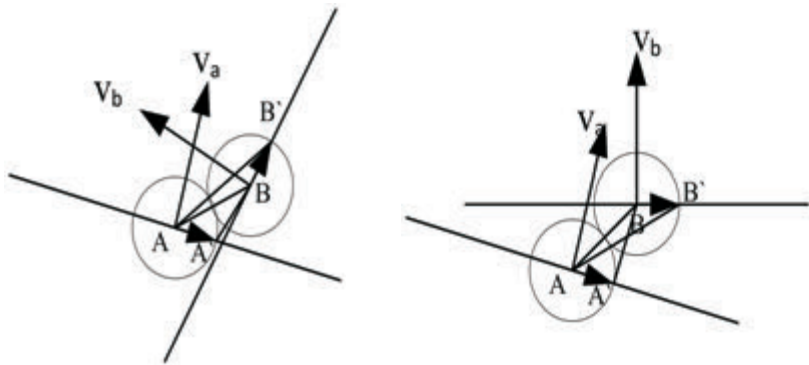
if A 的优先级大于 B

A 优先通过,并且 B 产生一个反方向的推力,以避免 A 与 B 发生穿透

else B 优先通过,并且 A 产生一个反方向的推力,以避免 B 与 A 发生穿透。

(2) if A, B 之间的距离 $< d$ && $S\Delta_{AAB} > 0$ && $S\Delta_{BBA} < 0$ (B 在 A 的前方, A 在 B 的后方)

A 停止或减速,待 A, B 之间的距离 $> d$ 时, A 以期速度继续行走。



(a)

(b)

图 2 结合穿透矫正的碰撞规避

2.3 程序设计

文中采用的 Delta3D 是一款由美国海军研究院 (Naval Postgraduate School) 开发的全功能游戏与仿真引擎,它把一些知名的开源库例如 OpenSceneGraph (OSG), OpenDynamics Engine (ODE), Character Animation Library (CAL3D), OpenAL 进行底层封装,从而建立了一套全新的 API 函数库以供调用。由于该引擎具有较强的三维渲染能力以及丰富的功能,因此该引擎在三维仿真和游戏等方面有较广泛的应用。

主程序共有三个组件构成。第一,动画组件主要控制场景当中人群动画演示和人群数量的控制。第二,输入组件包括键盘与鼠标响应与游戏事件的建立与发送。第三,界面组件主要实时显示场景帧数与场

景中消息数目。MyGameEntryPoint 类则是程序初始化参数的设置,包括场景信息的读取和摄像机状态的设定等。

在 Agent 智能体当中创建 SingleActor 类,并且继承于 Delta3D 当中自定义的 AnimationGameActor 类,该类包含了一个骨骼动画类。SingleActor 类中三个方法分别对应的是路径寻找、目前行走、碰撞规避。程序中每一个 Actor 类都由相对应的代理类创建,并在 OnEnteredWorld() 当中实现对 Actor 消息接收机制。

2.4 仿真流程

- 仿真流程具体步骤如下:
- 1)系统初始化设定。对系统参数设置,如仿真程序界面大小、摄像机位置、人群数量。
 - 2)通过对应的文件名导入虚拟场景模型以计算出导航图并导入程序当中。
 - 3)智能体在导航图中随机选取节点作为起始点。
 - 4)判断此节点是否被其它智能体所占据,Y 则重新选取其它节点作为起始点。
 - 5)若智能体选取好起始点则在终点列表当中选取终点。
 - 6)每个智能体利用 Astar 算法计算出疏散路径,并利用优化算法优化一次。
 - 7)智能体开始行走,同时激活与智能体绑定的动画。
 - 8)智能体在行走的过程中对碰撞实时感知,若感知到碰撞则进行穿透矫正与障碍规避流程。
 - 9)若所有智能体到达终点则仿真终止。

3 仿真结果与分析

文中利用 Delta3D 三维游戏引擎与 Visual Studio 2008 开发环境,采用面向对象编程方式建立仿真程序。在 30m×30m 的房间随机分布 50 人和 100 人分别进行比较,并利用该程序对三种不同出口布局方式下人员疏散进行模拟。

图 3 表示在只有 1 个 2m 宽的出口条件下人群疏散状况。图 4 表示 2 个 1m 宽的出口分布在同一侧面时的疏散状况。图 5 表示 2 个 1m 宽度的出口分布在不同侧面的疏散状况。如表 1 所示给出了三种不同状况下的总体疏散时间。

表 1 不同人数在不同出口条件下的疏散时间

疏散人数	单个 2m 出口	2 个 1m 出口 (同侧)	2 个 1m 出口 (不同侧)
50 人	18s	14.5s	11s
100 人	22s	16s	13s

由图 3 中看出在单个出口条件下,由于人群都向一个方向聚集,导致出口处引起较多冲突,因此导致疏

散时间比起其他出口条件下较长。而图 4 与图 5 的出口条件给予人群提供了分流,提高了疏散效率,而把出口分别放在不同侧面则更有利于人群疏散的分流。在出口宽度固定的情况下,多出口的设置是更为合理的。

将该程序在 AMD Athlon II X2 2.89GHz,内存 2GB,图形显卡 ATI Radeon HD5500 512MB 的计算机硬件平台进行测试。由于动态路径的计算、实时碰撞检测的计算以及个体的三维渲染占用较多系统资源,因此该程序在人数超过 100 的情况下,导致每秒帧数低于 20fps。目前此系统只适用于小规模的人群运动仿真。对于较大规模人群的研究还有待系统进一步的优化。



图 3 单个 2m 出口

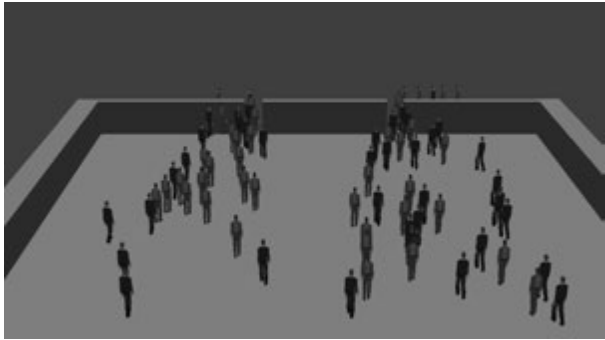


图 4 两个 1m 门出口(同一侧面)

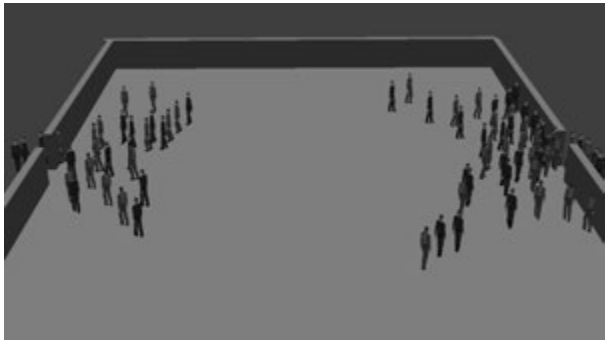


图 5 两个 1m 出口(不同侧面)

4 结束语

人群模拟一直是计算机仿真中研究的热点课题,也是非常复杂的课题。文中通过介绍人群模拟底层当中虚拟环境与人物动画的建模,并结合全局路径计算

与优化思想,搭建了人群模拟系统的静态框架,最后引入几何方法来制定碰撞规避的规则,从而对人群模拟仿真的真实度加以提升。最后对不同的出口条件下人群的疏散进行仿真,仿真结果表明该系统对疏散出口优化设计、人员疏散引导和待疏散人员选择正确的疏散策略有一定的指导作用。

虽然文中已经建立了全局路径,但是对于多房间的环境下研究还不够,未来希望通过建立三维建筑物的平面拓扑结构图来对全局路径进行分层,以加快路径计算效率。此外,所建立的碰撞规避规则还过于简单,对于以后的建模应当更多地加入个体心理因素的相互作用来制定更加完善的规则。在特殊环境下,例如火灾、煤气泄露、爆炸等情况下的烟雾,火势对人群移动是如何产生影响这一问题也值得深入研究。

参考文献:

- [1] Amkraut S, Girard M, Karl G. Motion Studies for a Work in Progress Entitled 'Eurythmy' [C]//SIGGRAPH Video Review. [s. l.]: [s. n.], 1985.
- [2] Reynolds C W. Flocks, birds and schools: a distributed behavioral model [J]. Computer Graphics, 1987(21): 25-34.
- [3] EXODUS [EB/OL]. 2010. <http://fseg.gre.ac.uk/index.html>.
- [4] Thompson P A, Marchant E W. Computer and Fluid Modeling of Evacuation [J]. Safety Science, 1995, 18(4): 277-289.
- [5] 方正, 卢兆明. 建筑物避难疏散的网格模型 [J]. 中国安

全科学学报, 2001, 11(4): 10-13.

- [6] 朱艺, 杨立中, 李健. 不同房间结构下人员疏散的 CA 模拟研究 [J]. 火灾科学, 2007, 16(3): 175-179.
- [7] 王兆其, 毛天露, 蒋浩, 等. 人群疏散虚拟现实模拟系统-Guarder [J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(6): 969-978.
- [8] Hughes R L. A continuum theory for the flow of pedestrians [J]. Transportation Research Part, 2002(36): 507-535.
- [9] Gayle R, Sud A, Andersen E, et al. Real-time navigation of independent agents using adaptive roadmaps [J]. IEEE TVCG, 2009(10): 34-38.
- [10] Jiang Hao, Xu Wenbin, Mao Tianlu, et al. Continuum crowd simulation in complex environments [J]. Computers & Graphics, 2010(34): 537-544.
- [11] 陈育, 陶平, 张小英. 大型商场人员安全疏散的计算机仿真研究 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(10): 211-214.
- [12] 褚龙现, 刘高原. 基于 Agent 的应急疏散模型研究 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(9): 201-207.
- [13] 皱海, 徐军, 褚维翠. 基于 OpenGL 的三维地形的模拟 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(6): 239-241.
- [14] 于君, 刘弘. 基于 ABC 算法的群体动画研究与应用 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(10): 222-225.
- [15] 杨晓, 廉静静, 张新宇. 基于 OSG 的虚拟场景中包围盒碰撞检测的研究 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(9): 32-35.
- [16] Fruin J J. Designing for Pedestrians: a Level of Service [C]//Highway Research Record 355. [s. l.]: [s. n.], 1971: 1-15.

(上接第 107 页)

方面配合 WSN 节点, 参与其路由计算, 另一方面通过伪装节点之间的相互协作, 在获得 WSN 节点信息的同时, 构建最差路由。通过 NS2 平台实现模型的仿真实验, 根据 WSN 节点的能耗及整个网络的生命周期等参数验证了伪装模型的有效性。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su Weilian, Sankarasubramaniam Y, et al. A Survey on Sensor Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [2] Tilak S, Abu-ghezaleh N B, Heinzelman W. A Taxonomy of Wireless Micro-sensor Network Models [J]. Mobile Computing and Communications Review, 2002, 1(2): 1-8.
- [3] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络 [J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291.
- [4] 孙利民, 李建中, 陈渝. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 1-18.
- [5] Yang G, Wang J T, Cheng H B. Identity-based Key Agreement and Encryption for Wireless Sensor Networks [J]. Journal of China Universities of Posts and Telecommunications,

2006, 13(4): 54-60.

- [6] Zhang Y C, Liu W, Lou W J, et al. Location-based Compromise-tolerant Security Mechanisms for Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(2): 247-260.
- [7] 赵小伟, 王绍斌. 基于标识算法的密钥管理体系和 CPK 认证 [J]. 信息安全与通信保密, 2007(6): 200-202.
- [8] 周文黎. 一种改进的无线传感器网络密钥管理方案 [J]. 计算机工程, 2011, 37(24): 123-125.
- [9] 敬海霞, 胡向东. 无线传感器网络的路由协议研究 [J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(10): 150-154.
- [10] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences. MA, USA: [s. n.], 2000: 3005-3014.
- [11] Yu Y, Govindan R, Estrin D. Geographical and energy aware routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks [R]. [s. l.]: UCLA, 2001.
- [12] 李雷, 付东阳. 基于分层模型的无线传感器网络分簇路由算法 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(1): 135-138.