

文章编号: 1001-0920(2006)10-1159-04

基于目的层预约的电梯群控系统建模与控制

罗 飞, 许玉格, 曹建忠

(华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广州 510641)

摘 要: 基于目的层预约的电梯控制系统是电梯群控系统发展的新方向。首先对目的层预约形式的电梯群控系统建立电梯群控系统模型, 为目的层预约思想在电梯群控系统中的应用建立仿真实验平台; 然后提出一种目的层预约的多目标电梯群控策略。实验结果表明, 目的层预约的电梯群控系统模型能准确描述电梯系统的动态行为, 基于目的层预约思想的群控策略能有效减少乘客等待时间和乘梯时间, 提高电梯系统性能。

关键词: 目的层预约; 电梯群控系统; 建模; 多目标策略

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Modeling and Control in Elevator Group Control System with Destination Registration

LUO Fei, XU Yu-ge, CAO Jian-zhong

(Automation Science and Engineering College, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Correspondent: LUO Fei, E-mail: aufeiluo@scut.edu.cn

Abstract: A simulation model of elevator group control system with destination registration is built. This simulation model can describe elevator movement accurately. A multi-object control policy is proposed based on elevator group control system with destination registration. Simulation results demonstrate that, compared with the minimum average waiting time policy in the ordinary elevator system, the proposed multi-object control policy improves the elevator group performance.

Key words: Destination registration; Elevator group control system; Modeling; Multiobject policy

1 引 言

电梯群控系统的控制策略需要越来越多的派梯信息对电梯系统进行派梯控制, 以使电梯系统得到更优的性能指标, 进一步满足电梯系统管理者以及乘客的需求。1997 年, 迅达电梯公司采用计算机技术成功地开发出了“电梯乘客目的层客流管理系统”^[1], 该电梯系统的选层信号盘改在电梯轿厢外的候梯厅内, 乘客在候梯厅通过楼层按钮盘选择自己要前往的目的楼层, 电梯管理系统将所有选定的内呼信号进行存储并统一进行派梯规划, 群控派梯中心得到派梯结果后, 在选层盘或显示系统中给出信号通知客人到该指定梯等待。其采用的全新客流分

配理论模型, 使电梯的客流管理基本理念产生了根本的转变, 引起业内人士的重视。减少启动, 减少能量消耗, 减少机械损耗; 把要求到达同一楼层或楼层相近的乘客分配到同一电梯, 提高电梯运行效率, 这是目的层预约控制系统与常规控制方式最大的不同点, 也是其优势所在。

目前在国内外, 对目的层预约模式的群控策略的研究还处于起步阶段, 日本学者针对单梯目的层预约算法进行了研究^[2,3], 国内也有学者对目的层预约的群控策略进行了初步研究^[4,5]。为了更深入地研究目的层预约的电梯群控策略, 首先应建立该电梯群控系统的仿真模型。结构简单、仿真效果准确的电梯模型对研究电梯群控技术非常重要。本文主要介

收稿日期: 2005-07-21; 修回日期: 2006-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(69684001)。

作者简介: 罗飞(1957—), 男, 广西柳州人, 教授, 博士生导师, 从事人工智能、运动控制系统等研究; 许玉格(1978—), 女, 河南新乡人, 博士生, 从事系统仿真、人工智能控制等研究。

绍目的层预约的电梯群控系统模型的建立以及在该模型基础上提出的多目标群控算法的仿真实验与结果分析

2 目的层预约的电梯群控建模

目的层预约的电梯整体系统由交通流数据的产生模块、电梯运行模块、群控算法模块、派梯命令队列模块以及电梯系统信息管理模块共同组成,如图 1 所示。目的层预约的电梯群控系统与传统电梯系统的主要区别在于电梯门厅的上下呼梯按钮被具体楼层数的数字呼梯按钮替代,内呼梯信号产生的时间提前,会产生一种虚拟内呼的信号,需对该类信息的产生、存储和更新进行处理,这与传统电梯群控模型有所不同

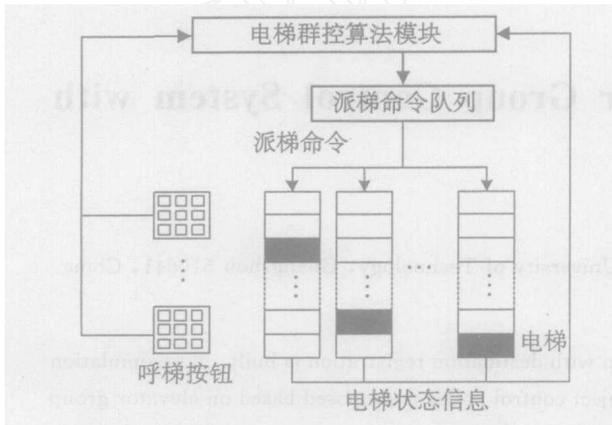


图 1 目的层预约的电梯群控系统结构

派梯命令队列的任务是连接群控算法模块和电梯运行模块的通信环节,完成呼梯命令的存储、添加、删除和更新等工作。在目的层预约的电梯系统中,乘客的目的层内呼信号是和外呼信号同时产生的,因此这种提前产生的内呼信号与乘客已经在电梯内乘梯的内呼信号涵义不同,在命令队列内的处理方式也有所不同。目的层预约的内呼命令定义为虚拟内呼,将已被响应过的外呼产生的内呼命令定义为实际内呼,实际内呼与传统定义中的内呼涵义相同。虚拟内呼与实际内呼的区别在于: 1) 虚拟内呼是提前产生的实际内呼,在相应外呼被服务后,虚拟内呼将转化为实际内呼; 2) 实际内呼是一定会被执行的命令,而虚拟内呼可能因为相应外呼派梯失败而被删除,不一定会被执行; 3) 在命令队列中虚拟内呼和实际内呼的插入位置不同,虚拟内呼必须从相应外呼之后插入队列,而实际内呼可以在队列中任何位置插入队列。虚拟内呼的实际意义是在群控计算时,可估计该乘客的乘梯时间,还可计算内呼造成的目的楼层重复度

电梯群控系统是由多台单梯组成,因此每台电梯的运动模型是相同的,在目的层预约系统中,采用

基于细胞自动机原理的电梯运动模型^[6]。图 2 给出一台电梯轿厢在时间 t 到 $t+2T$ 内,从第 $i+1$ 层向下运行到 $i-1$ 层的细胞自动机运行图。其中 $1 \sim n$ 个细胞共同组成电梯轿厢运行的范围,黑色细胞代表轿厢, T 是系统更新的周期

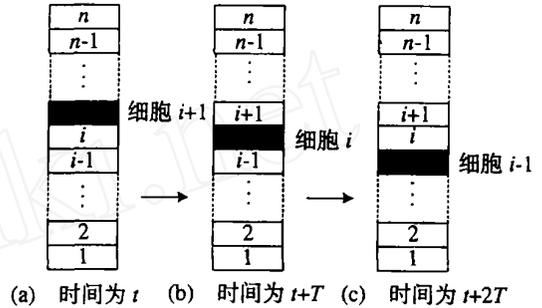


图 2 细胞自动机的电梯运行模型

分析电梯运动行为,可将电梯轿厢的运动状态分为: 运行(包括启动、制动、加/减速和匀速行驶),等待(包括开门、关门和乘客进出)和停止(没有呼梯命令)3 个部分。细胞自动机模型的演化是通过所有细胞同步地进行状态刷新来实现。根据电梯具体运行参数和模型精度要求,可确定细胞进行状态刷新的最小时间周期 T 。细胞自动机即是通过不同的状态刷新次数来描述电梯上述不同的运行状态。电梯运动模块按照派梯队列中的命令进行运行,群控算法模块根据外呼梯信号和多台电梯的运行情况(包括电梯当前的运动状态、当前所在楼层、轿厢内人数、派梯队列命令数量)进行群控派梯计算,并将计算出的派梯命令放入相应电梯的派梯队列中,信息管理模块记录电梯运行信息和呼梯响应情况。电梯的群控算法模块可以根据研究的需要挑选合适的群控策略。本文采用的具体群控算法见第 3 节。

3 目的层预约的多目标群控策略

在目的层预约的电梯系统中,由于在同一楼层候梯乘客的目的层不一定相同,群控派梯模块将根据每个乘客的目的楼层分别进行派梯计算,具有相同目的楼层的乘客可以考虑派相同的电梯,以减少电梯停梯次数。因此,如果命令队列中的命令楼层与乘客的外呼梯和内呼梯楼层有重复,则尽量将有重复的呼梯信号安排在同一台电梯,即目的楼层重复度的概念。根据这种思路,本文提出一种多目标的电梯群控算法,包括平均候梯时间、平均乘梯时间和目的楼层重复度 3 个控制目标。该算法主要考虑当乘客出现时,根据外呼、目的内呼信息、电梯群当前运行状态以及电梯命令队列情况,逐一计算每台电梯响应该乘客的候梯时间、乘梯时间以及是否有相同目的层等信息,选出综合值最小的一台电梯来响应

该乘客 其数学表达式如下:

$$K = \arg \min F_k,$$

$$F_k = \lambda_1 * WT(k, i) + \lambda_2 * RT(k, i) + \lambda_3 * D(k, i), \quad (1)$$

其中

$$WT(k, i) = t * HF(k, i) + s(k) * HS(k, i),$$

$$RT(k, i) = t * CF(k, i) + s(k) * CS(k, i),$$

$$D(k, i) = a,$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1, \lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \lambda_3 > 0$$

式(1)中, $WT(k, i)$ 表示电梯 k 响应外呼 i 的等梯估计时间, $RT(k, i)$ 表示乘梯估计时间, $D(k, i)$ 表示目的楼层重复度 k 是备选电梯编号, K 是选中的电梯编号, i 是外呼信号的编号, F_k 是第 k 台电梯响应外呼 i 的综合值, 系数 λ 是三者之间的权重, 可以根据优化目标的偏重进行设置. $HF(k, i)$ 是电梯从当前楼层运行到外呼信号所在楼层的楼层数, t 是电梯匀速运行一层的时间, $HS(k, i)$ 是电梯运行到外呼楼层之前的停梯次数, $s(k)$ 是电梯一次停梯所需时间, 包括电梯减速、开门、乘客进出、关门以及加速的时间总和. $CF(k, i)$ 是电梯从外呼楼层运行到目的楼层的楼层数, $CS(k, i)$ 是期间的停梯数. 在仿真实验中, 如果外呼 i 的楼层与电梯 k 的命令队列中已存在的命令楼层有重复, 且该外呼的目的楼层也有重复, 则 $a = 0$; 如果符合两种情况之一, 则 $a = 1$; 如果二者都没有重复, 则 $a = 2$. $D(k, i)$ 是根据总体函数取最小值最优来取值, 因此, 重复度越大, 对总体函数的贡献越大, $D(k, i)$ 越小.

该群控算法的优点是: 1) 提出乘梯时间作为控制目标之一, 目的楼层的提前得知, 使得乘梯时间可以预估, 提高了对乘客等梯时间和乘梯时间估计的准确度, 群控派梯的准确度也将提高; 2) 目标 $D(k, i)$ 的设置, 尽量将相同目的层的乘客安排在同一台电梯, 可有效减少电梯停梯次数; 3) 乘客乘梯时间的减少增加了其他乘客接受电梯服务的机会, 因此从整体上来说, 系统服务的总时间降低了.

4 仿真实验

为了验证建立的目的层预约的电梯群控系统模型的运行效果以及提出的多目标群控算法的性能优化程度, 进行了仿真实验.

以常见的办公大楼为例, 系统中电梯的最大速度为 2 m/s , 加/减速度为 1 m/s^2 , 平均楼层高度为 3.3 m , 轿厢容量 15 人, 平均开/关门时间 3 s , 平均乘客进出时间 3 s . 模型中电梯楼层数和电梯台数可根据实验要求进行设定. 乘客交通流数据由泊松分布和蒙特卡罗随机试验法产生.

首先建立一个 3 梯 10 层的简单系统模型来验

证系统的运行状况. 系统模型在 70 s 内接收到 10 个外呼信号, 采用多目标的群控策略. 图 3 显示该模型中电梯的运行情况. 从图中可知, 3 台电梯均正常运行, 符合电梯实际运行情况.

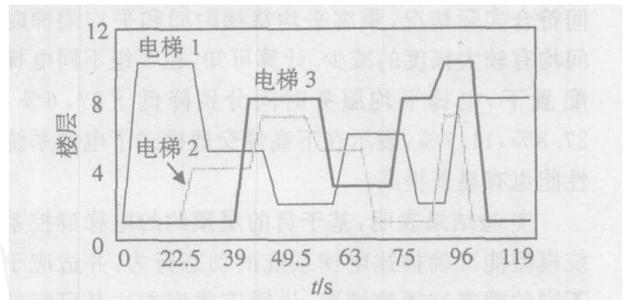


图 3 电梯运行状态图

将电梯群控系统模型在峰值交通流状况输入下运行, 验证该模型在各种不同乘客交通流下的运行情况. 同时检验多目标群控算法的运行效果, 采用上行高峰和下行高峰的交通流数据和 10 层 3 梯、15 层 4 梯、20 层 6 梯 3 种电梯群结构进行实验, 并与传统电梯系统的基于最小平均等待时间群控策略的运行结果进行对比分析. 传统电梯仿真模型的实验结果可在基于细胞自动机原理的电梯运动模型^[6]下得到.

实验中客流量设为 150 人/5 min , 系统仿真时间为 1800 s , 总客流量为 900 人. 实验结果见表 1, 表 2.

表 1 上高峰交通模式实验结果

系统类型	AWT	ART	AST
10-3 目的层模式	41.7	33.2	74.9
10-3 传统模式	48.7	46.4	88.1
15-4 目的层模式	38.9	35.5	74.3
15-4 传统模式	57.1	58.0	115.1
20-6 目的层模式	14.8	61.1	75.9
20-6 传统模式	13.4	67.8	81.2

表 2 下高峰交通模式实验结果

系统类型	AWT	ART	AST
10-3 目的层模式	32.9	35.4	68.3
10-3 传统模式	50.3	44.0	94.3
15-4 目的层模式	24.3	40.8	65.1
15-4 传统模式	44.0	45.6	89.6
20-6 目的层模式	16.7	39.3	56.0
20-6 传统模式	19.1	44.3	63.4

从表 1 可知, 在上高峰交通模式下, 电梯运行时间符合实际情况, 并且乘客平均待梯时间和平均乘梯时间均有大幅度减少. 统计可知, 在 3 组不同电梯配置下, 电梯平均服务时间分别降低了 14.9%, 35.4%, 6.5%, 表示目的层预约对电梯系统性能提高十分显著. 其中电梯资源相对较少的 15 层 4 梯系统的性能提高较大, 而电梯资源相对较多的 20 层 6

梯系统提高较小,表明在电梯承载资源越紧缺的情况下,目的层预约的多目标群控策略对系统性能的提高越大

从表2可知,在下高峰交通模式下,电梯运行时间符合实际情况,乘客平均待梯时间和平均乘梯时间均有较大幅度的减少。计算可知,在3组不同电梯配置下,电梯平均服务时间分别降低了27.6%,27.3%,11.7%,表示在下高峰交通模式下电梯系统性能也有显著提高

实验结果表明,基于目的层预约的电梯群控系统模型能准确描述电梯系统的动态行为,并适应于不同的乘客交通情况,说明该建模方法是可行的且有效的。并且通过文中提出的多目标群控算法与传统最小候梯时间群控算法的对比,验证了基于目的层预约思想的多目标群控策略可有效提高电梯系统的性能,尤其适用于电梯资源紧缺的高峰交通流模式

5 结 语

目的层预约的电梯模式是未来电梯群控系统的发展方向,本文首先建立目的层预约的电梯群控系统仿真模型,进而研究相应的电梯群控策略,具有较强的社会意义和经济价值

为推动目的层预约模式的电梯控制系统的快速发展,需要改变一些乘客的乘梯习惯。另外,将人工智能等先进算法用于目的层预约的电梯群控策略中,将成为下一步研究工作的主要内容

参考文献(References)

- [1] 何斌. 电梯交通分析[J]. *中国电梯*, 2003, 14(20): 26-27.
(He B. Elevator Traffic Analysis[J]. *China Elevator*, 2003, 14(20): 26-27.)
- [2] Shunji Tanaka, Yukihiko Uraguchi, Mituhiko Arai
Dynamic Optimization of the Operation of Single-car Elevator System with Destination Hall Call Registration, Part I: Formulation and Simulations[J]. *European J of Operational Research*, 2005, 16(7): 550-573
- [3] Shunji Tanaka, Yukihiko Uraguchi, Mituhiko Arai
Dynamic Optimization of the Operation of Single-car Elevator System with Destination Hall Call Registration Part II: The Solution Algorithm [J]. *European J of Operational Research*, 2005, 16(7): 574-587.
- [4] 闫冬梅, 顾德英. 电梯群控预约控制算法[J]. *现代电子技术*, 2004, 17(9): 98-99
(Yan D M, Gu D Y. Elevator Group Registration Control Policy[J]. *Electronic Technology*, 2004, 17(9): 98-99.)
- [5] 王志敏, 顾文业. 考虑乘客混杂度的电梯群控智能调度算法[J]. *物理测试*, 2004, 14(3): 9-11.
(Wang Z M, Gu W Y. Intelligent Dispatching Algorithm Considering Passenger Intensity-degree for Elevator Group Control System [J]. *Physics Testing*, 2004, 14(3): 9-11.)
- [6] Xu Y G, Luo F, Wang J G. A New Modeling Method for Elevator Group Control System with Cellular Automata [A]. *Proc of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation* [C]. Hangzhou, 2004: 3596-3599.
- [7] Halpern J B, Pike L E. Elevator Operation and Control [A]. *Vertical Transportation Handbook* [C]. New York: John Wiley and Sons, 1998: 129-167.
- [8] 宗群, 尚晓光, 岳有军, 等. 电梯群控系统虚拟仿真环境设计[J]. *制造业自动化*, 1999, 21(5): 24-25.
(Zong Q, Shang X G, Yue Y J, et al. Elevator Group Control System Virtual Simulation Environment Design [J]. *Manufacturing Automation*, 1999, 21(5): 24-25.)
- [9] Perrin D P, Kadioglu E, Stoeter S A, et al. Localization of Miniature Mobile Robots Using Constant Curvature Dynamic Contours [A]. *Proc of IEEE Int Conf on Robotics and Automation* [C]. Washington, 2002: 702-707.
- [8] Nithammer M, Tannenbaum A. Dynamic Geodesic Snakes for Visual Tracking [A]. *Proc of IEEE Conf on Computer Vision and Pattern Recognition* [C]. Washington, 2004: 660-667.
- [9] Amini A A, Tehrani S, Weymouth T E. Using Dynamic Programming for Minimizing the Energy of Active Contours in the Presence of Hard Constraints [A]. *Proc of Second Int Conf on Computer Vision* [C]. Tampa, 1988: 95-99.
- [10] 杨宜禾, 周维真. *成像跟踪技术导论* [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991: 129-134
(Yang Y H, Zhou W Z. *Introduction of Imaging and Tracking Technique* [M]. Xi'an: Xidian University Press, 1991: 129-134.)
- [11] Lv X D, Huang X H. Three-layered Control Architecture for Microassembly with Human-robot Task Plan Interaction [A]. *Proc of IEEE Int Conf on Robotics and Biomimetics* [C]. Shenyang, 2004: 583-588.
- [12] Wren C R, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Pfunder: Real-time Tracking of the Human Body [J]. *IEEE Trans on Pattern Anal and Machine Intelligence*, 1997, 19(7): 780-785.

(上接第1147页)