

基于模糊逻辑的预约电梯群控算法

周海丹, 赵国军*, 徐 雷

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 基于传统电梯群控系统乘客乘梯时间的不可知性, 提出了一种目的层预约与模糊逻辑相结合的多目标群控算法。首先设计了该电梯群控调度系统的结构, 介绍并分析了电梯调度算法; 然后分析了基于模糊逻辑的交通模式识别过程, 同时给出了候梯时间、乘梯时间及系统能耗的计算公式和综合评价函数; 最后, 采用 VB 编写了电梯群控仿真系统。仿真结果表明, 基于模糊逻辑的预约电梯群控系统提高了系统的运行效率和性能, 验证了算法的可行性。

关键词: 电梯群控; 目的层预约; 模糊逻辑; 调度算法

中图分类号: TH39; TH236; TP273

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2010)09-0037-05

Algorithm of elevator group control system based on destination reservation and fuzzy logic

ZHOU Hai-dan, ZHAO Guo-jun, XU Lei

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: For unknowability of the riding time in traditional elevator group control system (EGCS), an intelligent algorithm of multi-objective planning based on destination reservation and fuzzy control was put forward. The EGCS was firstly designed and the dispatching algorithm was demonstrated. Then the identification of traffic mode based on fuzzy logic was analyzed, the calculation formulas for waiting time, riding time and energy consumption were given, and the comprehensive evaluation function was built up. At last, the simulation software was written by Visual Basic. The simulation results show that the proposed EGCS can improve operating efficiency and group performance, therefore, it is feasible.

Key words: elevator group control system(EGCS); destination reservation; fuzzy logic; dispatching algorithm

0 引 言

电梯群控系统采用优化的控制策略来协调多台电梯的运行, 以提高电梯的运输效率和服务质量^[1]。由于电梯群控系统乘客数量、内外呼所在楼层、目的楼层等的不可预测性, 导致电梯控制系统变得十分庞大, 调度算法日趋复杂, 仅仅通过传统的控制方法很难提高电梯群控系统的性能。

与传统的电梯控制系统相比, 目的层预约的电梯群控系统在各个层站增设目的层预约设备, 取代了传统电梯上下方向的外召形式。这样, 群控系统在乘客进入电梯之前就可以获得其目的楼层的信息。近年

来, 芬兰通力公司^[2]和日本三菱公司^[3]曾分别推出带目的层预约的群控系统, 对目的层预约模式的群控策略的研究目前在国内外还处于起步阶段。

模糊控制技术不仅能处理精确的信息, 同时也能处理模糊信息和其他不明确的信息, 能比较合理地识别出电梯交通模式。日本三菱公司在 1988 年率先在电梯群控系统中应用模糊控制技术后, 其他各大电梯公司陆续进行了基于模糊控制技术的电梯群控系统开发与应用, 并取得了一定的成果, Fujitec 公司的 FLEX-8820 和 FLEX-8830^[4]利用了 30 多种不同的评价指标完成了多级决策。

因此, 本研究提出一种目的层预约与模糊逻辑相

结合的多目标群控算法。

1 电梯调度系统基本结构

本系统包括一台群控器、各层站外召 LCD(每个楼层一台)和若干台电梯组成。其中,层站外召部分(触摸屏智能 LCD 显示器 LDJ-ZU070/T)可同时实现键盘和显示的功能,乘客可在目的层选择单元完成登记;群控器进行有关计算并负责处理派梯;各单梯控制器完成门机控制和轿箱内称重信号的测量,并对群控器发出的命令作出响应,控制相应轿厢的运行;RS-485 完成相应单元之间的数据传递。本系统采用主从式的通讯方式,使用群控器对各单梯控制器进行轮流监控,并进行集中调度。整个系统的基本结构如图 1 所示。

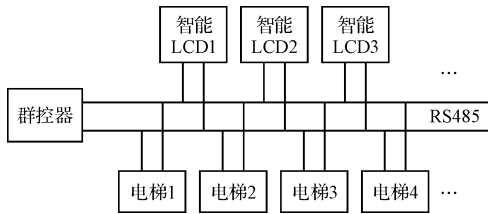


图 1 电梯群控系统结构图

2 算法分析

2.1 多目标综合评价函数的建立

电梯群控调度算法的执行过程,其实就是一个求解评价函数的过程。此处的 3 个主要评价指标^[5]分别为:乘客候梯时间 T_w 、乘客乘梯时间 T_R 、和电梯的能源消耗 SC 。

根据以上分析,建立评价函数并对其进行无量纲化处理:

$$P(i) = WT_1 \times \frac{T_w(i)}{\max\{T_w(i)\}} + WT_2 \times \frac{T_R(i)}{\max\{T_R(i)\}} + WT_3 \times \frac{SC(i)}{\max\{SC(i)\}} \quad (1)$$

式中 $WT_i(i=1,2,3)$ —权系数,满足 $WT_i \in (0,1)$ 且 $WT_1 + WT_2 + WT_3 = 1$,其值由交通模式识别模块给出。

由此可以确定最优评价函数为:

$$P_b = \min\{P(1), P(2), \dots, P(n)\}$$

(1) 乘客候梯时间评价函数 $T_w(i)$ 。

$T_w(i)$ 为第 i 台电梯响应新召唤的乘客候梯时间,包括轿厢运行时间 $T_r(i)$ 和轿厢停靠时间 $T_s(i)$ 。 $T_r(i)$ 用电梯匀速运行一个楼层的时间 T_{r1} 和到达召唤层所经过的层站数 $F_r(i)$ 的乘积来表示, $T_s(i)$ 用轿厢的每层站的平均开/关门时间 T_{s1} 与各停靠层乘客进出

时间 $T_p(i)$ 之和和到达召唤层所停的层站数 $F_s(i)$ 的乘积来表示:

$$TW(i) = T_r(i) + T_s(i) = T_{r1} \times$$

$$F_r(i) + [T_{s1} + T_p(i)] \times F_s(i) \quad (2)$$

(2) 乘客乘梯时间评价函数 $T_R(i)$ 。

对于普通的电梯群控系统,乘客的乘梯时间是不能进行提前预测的,而目的层预约的电梯群控系统则可以对乘客乘梯时间进行预测。乘客的乘梯时间包括乘客进入电梯后的轿厢运行时间 $T'_r(i)$ 和轿厢停靠时间 $T'_s(i)$, $T'_r(i)$ 用 T_{r1} 和召唤层到目的层所经过的层站数 $F'_r(i)$ 的乘积来表示, $T'_s(i)$ 用 T_{s1} 与 $T_p(i)$ 之和和到达召唤层所停的层站数 $F'_s(i)$ 的乘积来表示。

$$T_R(i) = T'_r(i) + T'_s(i) = T_{r1} \times F'_r(i) + [T_{s1} + T_p(i)] \times F'_s(i) \quad (3)$$

(3) 电梯能耗评价函数 $SC(i)$ 。

电梯运行过程中的能耗主要发生在减速和启动阶段。这里用加减速运行能耗 SC_{st} 、匀速运行能耗 SC_a 和开/关门能耗 SC_d 来表示:

$$SC(i) = (SC_{st} + SC_d) \times F_s(i) + SC_a \times F_r(i) \quad (4)$$

2.2 电梯交通模式识别

本次设计所引用的客流数据是通过计算机仿真方法得到的。电梯乘客的到达过程是一个复杂的随机过程,乘客到达看作多队列、多服务台的排队系统,因而将乘客的到达过程看成一种近似泊松过程是十分合理的^[6-7]。交通模式的识别过程如图 2 所示。

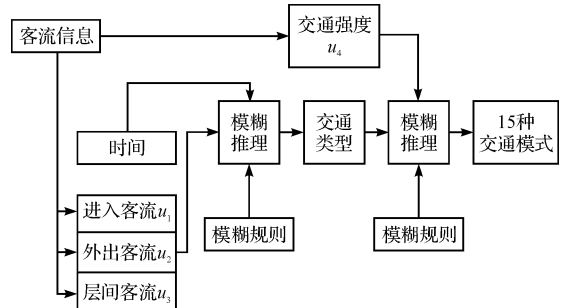


图 2 交通模式的识别过程

(1) 输入量的定义。

模糊逻辑交通模式识别各输入量的定义如下(一般取 5 min)^[8-9]:

进入客流到达率 λ_{inc} : 进入建筑物乘客人数占建筑物总客流人数的百分比;

外出客流到达率 λ_{out} : 离开建筑物乘客人数占建筑物总客流人数的百分比;

层间交通客流到达率 λ_{inter} : 建筑物层间交通乘客人数占建筑物总客流人数的百分比;

相对交通强度 u_s : 乘客进入、外出、以及层间交通

的总到达率与上行最高峰时期的乘客总到达率相比,得到的数值,称为相对交通强度。

即：
$$u_4 = 100 \times (\lambda_{inc} + \lambda_{out} + \lambda_{inter}) / HC \quad (5)$$
式中 HC —电梯群的客流输送能力,可以认为近似等于进入高峰的最大五分钟乘客到达率。

用以下公式可得到 3 种不同客流,即进入客流(u_1)、外出客流(u_2)、层间客流(u_3)各自所占的比例^[10]:

$$\begin{cases} u_1 = 100 \times \lambda_{inc} / (\lambda_{inc} + \lambda_{out} + \lambda_{inter}) \\ u_2 = 100 \times \lambda_{out} / (\lambda_{inc} + \lambda_{out} + \lambda_{inter}) \\ u_3 = 100 \times \lambda_{inter} / (\lambda_{inc} + \lambda_{out} + \lambda_{inter}) \\ u_1 + u_2 + u_3 = 100 \end{cases} \quad (6)$$

(2) 输入量的模糊化。
交通构成占总交通的百分比隶属函数和交通强度的隶属函数图形分别如图 3、图 4 所示。

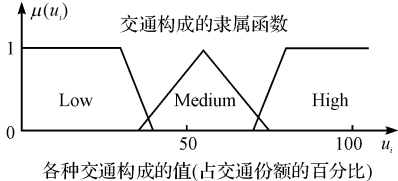


图3 交通构成占总交通的百分比隶属函数

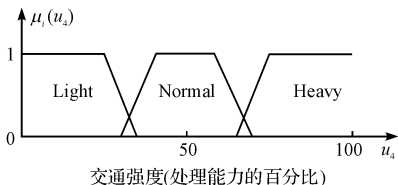


图4 交通强度的隶属函数

(3) 模糊推理。
根据 3 种交通量构成和交通强度,由 Max-Min 推理可以得到 9 条判别不同交通类型的规则,如表 1 所示;27 条判别不同交通模式的规则,选择合并后可得到本研究所要的 24 条规则,如表 2 所示(共有 15 种交通模式)。

表 1 确定交通类型的规则

进入客流	外出客流	层间客流	交通类型
High	Low	Low	incoming(上行交通)
Low	High	Low	outgoing(下行交通)
Low	Low	High	inter-floor(层间交通)
Medium	Low	Low	incoming(上行交通)
Low	Medium	Low	outgoing(下行交通)
Low	Low	Medium	inter-floor(层间交通)
Medium	Medium	Low	four-way(四路交通)
Medium	Low	Medium	two-way(两路交通)
Low	Medium	Medium	two-way(两路交通)

表 2 确定交通模式的规则

交通强度	进入客流	外出客流	层间客流	交通模式(编号)
Heavy	High	Low	Low	Up-peak(1)
Heavy	Low	High	Low	Down-peak(2)
Heavy	Low	Low	High	Heavy inter-floor(3)
Heavy	Medium	Low	Low	Heavy incoming(4)
Heavy	Low	Medium	Low	Heavy outgoing(5)
Heavy	Low	Low	Medium	Heavy inter-floor(3)
Heavy	Medium	Medium	Low	Two-way peak(6)
Heavy	Medium	Low	Medium	Heavy four-way(7)
Heavy	Low	Medium	Medium	Heavy four-way(7)
Normal	High	Low	Low	Incoming(8)
Normal	Low	High	Low	Outgoing(9)
Normal	Low	Low	High	Inter-floor(10)
Normal	Medium	Low	Low	Incoming(8)
Normal	Low	Medium	Low	Outgoing(9)
Normal	Low	Low	Medium	Inter-floor(10)
Normal	Medium	Medium	Low	Two-way(11)
Normal	Medium	Low	Medium	Four-way(12)
Normal	Low	Medium	Medium	Four-way(12)
Light	High	Low	Low	Light incoming(13)
Light	Low	High	Low	Light outgoing(14)
Light	Low	Low	High	Light inter-floor(15)
Light	Medium	Low	Low	Light incoming(13)
Light	Low	Medium	Low	Light outgoing(14)
Light	Low	Low	Medium	Light inter-floor(15)

(4) 权系数的选择。

乘客对电梯服务的第一要求就是候梯时间 T_w 要短,因此无论在何种交通模式下, T_w 的权值都应该相对较大。在上行高峰交通模式下,几乎所有乘客的起始层都在基层,所以应当以减少乘客的平均乘梯时间为主要控制目标,因此应当赋予 T_w 、 T_R 一个较大的权值。同理,下行高峰交通模式应当以减少乘客的 T_w 为主要控制目标。而在平衡层间交通类型时,由于乘客召唤的起始层和召唤方向都不确定,此时应当考虑各交通类型占的比例的大小,综合考虑 T_w 、 T_R 、 SC 的权系数,以使系统的总体性能提高。

根据以上分析,并借助专家知识,不同交通模式下各控制目标的权系数值如表 3 所示。

表 3 主要交通模式对应权系数

	WT_1	WT_2	WT_3	WT_4
Up-peak	0.45	0.45	0.05	0.05
Down-peak	0.55	0.15	0.25	0.05
Heavy inter-floor	0.50	0.35	0.10	0.05
inter-floor	0.50	0.30	0.10	0.10
Incoming	0.40	0.35	0.15	0.10
outgoing	0.50	0.15	0.25	0.10
Light inter-floor	0.30	0.25	0.20	0.25
Light incoming	0.30	0.30	0.20	0.20
Light outgoing	0.30	0.25	0.25	0.20

3 算法的实现和仿真

系统的调度算法流程图如图 5 所示。当有新的层站呼梯信号时,群控系统首先根据客流信息确定当前的交通模式,进而确定该交通模式所对应的各评价函数的权系数 WT_1 、 WT_2 、 WT_3 的值;然后根据乘客登记的目的楼层、呼叫所在的当前楼层和各电梯现在的运行状态(运行方向、运行楼层、登记成功的乘客呼叫队列、电梯运行速度、开关门时间),计算出各电梯的 $T_w(i)$ 、 $T_R(i)$ 和 $SC(i)$;再将 $T_w(i)$ 、 $T_R(i)$ 和 $SC(i)$ 加权平均输出作为目标 $P(i)$,选取 $P(i)$ 值最小的电梯作为响应该层站召唤的电梯,并将结果发送到各层 LCD 作为提示。

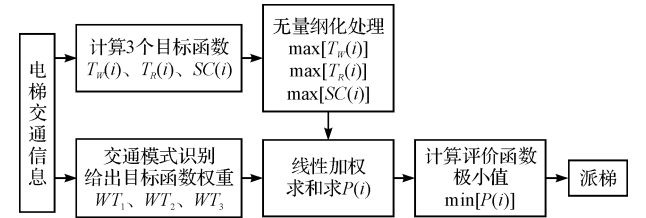


图 5 电梯群控算法流程图

- 算法的执行步骤如下：
- (1) 读取系统初始化时参与群控的电梯数量 n 、总楼层数 F 、电梯匀速运行一个楼层所需时间 T_{r1} 、每层站的平均停靠时间 T_{r1} 、每层站的平均开关门时间 T_{s1} 、电梯的加减速运行能耗 SC_{st} 、匀速运行能耗 SC_a 和开关门能耗 SC_d 等信息；
 - (2) 读取各台电梯的状态信息:当前运行方向、当前所在楼层、已分配的内外召信息；
 - (3) 读取并记录智能 LCD 上被登记的目的楼层；
 - (4) 采用模糊逻辑确定交通模式并确定 WT_1 、 WT_2 、 WT_3 的取值；
 - (5) 计算各台电梯的 $T_w(i)$ 、 $T_R(i)$ 和 $SC(i)$,并经比较算出 $\max[T_w(i)]$ 、 $\max[T_R(i)]$ 和 $\max[SC(i)]$ ；
 - (6) 根据式(1)计算出各台电梯的评价函数值 $P(i)$,并派 $P(i)$ 值最小的电梯去响应。

本次设计选用了 VB^[11] 编制电梯仿真软件系统,该仿真软件系统包括电梯参数设置、仿真算法参数设置、电梯动态运行仿真等几大功能模块,该软件模拟了电梯群控系统,并对不同群控算法的应用效果进行了比较。该系统根据仿真的客流,模拟运行一段时间后,自动获得平均候梯时间、平均乘梯时间、电梯总的候梯次数以及系统能耗,以此来评价群控算法的优劣。

在本次仿真中,设置电梯数量为 4 台,每台电梯的

最高楼层为 20,单层匀速运行时间为 2 s,平均开关门时间为 4 s,每个乘客的进出时间为 0.75 s,启停能耗设为 50 kJ/次,匀速能耗设为 30 kJ/层;设置完以上参数后,接着设置各电梯的初始状态以及客流分布情况;然后开始仿真。电梯动态仿真主界面如图 6 所示。

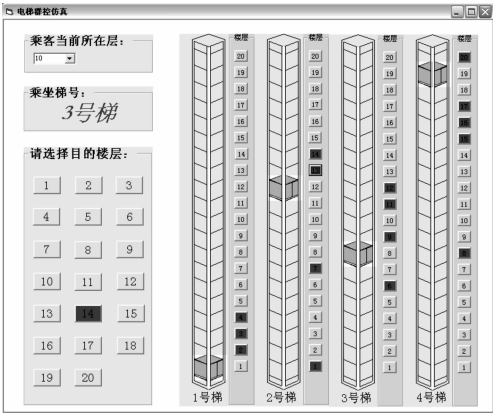


图 6 电梯动态仿真主界面

经过多次仿真,和同等条件下对最小等待时间算法的比较结果,如表 4 所示,其仿真结果表明基于模糊逻辑的预约群控算法的平均候梯时间、平均乘梯时间和停梯次数分别减少了 20%、17% 和 12%。

表 4 两种算法的仿真结果比较

	平衡层间交通模式		上行高峰交通模式	
	最小等待时间	预约多目标规划	最小等待时间	预约多目标规划
平均候梯时间/s	21.5	17.7	26.5	32.5
平均乘梯时间/s	31.6	29.1	54.8	38.1
电梯系统能耗/kJ	570	450	1 254	895
电梯起停次数/次	235	219	520	433

4 结束语

本研究详细地分析了基于模糊逻辑的预约电梯群控算法,与传统算法相比,该系统能更精确地获得乘客人数,计算出乘客乘梯时间,并在此基础上通过乘客候梯时间、乘梯时间和电梯能耗这 3 个评价指标,达到提高电梯群服务质量和节能的目的。通过仿真试验证明了该算法的有效性。但是,模糊控制的性能取决于专家技能,单纯的模糊控制对环境的适应性不是非常理想。在以后的工作中,笔者也将会在此基础上增加系统的自学习功能,使得交通模式的识别变得更加准确。

参考文献(References):

- [1] 钱宇. 智能电梯群控系统通讯功能的实现[J]. 机电工程技术, 2008, 37(3): 36-38.
- [2] PENTTI L, JUKKA T, JOHANNES D J. Elevator System; FI, 047382[P]. 2009-04-16.
- [3] SAKURAKO T. Elevator System, Elevator Control Device and Destination Floor Reception Terminal Device; JP, 130750[P]. 2009-10-29.
- [4] 弓箭, 刘强, 刘剑. 人工智能在电梯群控系统中的应用[J]. 沈阳建筑工程学院学报: 自然科学版, 2002, 18(4): 306-308.
- [5] 王国萍, 朱明富, 雷科. 多目标的电梯群控系统算法分析[J]. 自动化技术与应用, 2005, 24(3): 6-8.
- [6] NEWELL G F. Strategies for serving peak elevator traffic [J]. **Transportation Research Part B: Methodological**, 1998, 32(8): 583-588.
- [7] 顾启泰. 离散事件系统建模与仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [8] TYNI T, YLINEN J. Evolutionary bi-objective optimisation in the elevator car routing problem[J]. **European Journal of Operational Research**, 2006, 16(9): 960-977.
- [9] 曾国伟. 基于模糊控制技术的电梯群控系统设计[J]. 浙江工业大学学报, 2009, 37(1): 115-118.
- [10] 宗群, 尚晓光. 电梯群控系统的交通模式识别[J]. 控制与决策, 2001, 16(2): 163-166.
- [11] [美] RESELMAN B, [美] PEASLEY R. 实用 Visual Basic 6 教程[M]. 何建辉, 董方鹏, 冯毅, 译. 北京: 清华大学出版社, 2001.

[编辑: 张翔]

(上接第17页)

- [7] 许杰, 刘春生. 基于神经网络的磁悬浮球自适应控制器[J]. 机电工程, 2007, 24(3): 22-24.
- [8] HASSAN I M, MOHAMED A M, SALEH A I. Variable structure control of a magnetic suspension system [C]// Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Control Application. Mexico: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2001: 333-336.
- [9] 曹学余, 汤炳新. 磁悬浮球系统的变结构控制[J]. 自动化技术与应用, 2005, 24(4): 4-6.
- [10] 申铁龙. H_∞ 控制理论及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- [11] YI J H, PARK K H, KIM S H, et al. Robust force control for a magnetically levitated manipulator using flux density measurement[J]. **Control Engineering Practice**, 1996, 4(7): 957-965.
- [12] 李群明, 朱伶, 徐震. 磁悬浮球的鲁棒控制器设计[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2007, 38(5): 922-927.
- [13] LI J, LI T S. Multi-loop control of thyristor-driven magnetic levitation system[J]. **Mechatronics**, 1995, 5(5): 469-481.
- [14] LIN C E, JOU H L. Force model identification for magnetic suspension system via magnetic field measurement [J]. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, 1993, 42(3): 767-771.
- [15] 黄曼磊. 鲁棒控制理论及应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005.
- [16] 吴旭东, 解学书. H_∞ 鲁棒控制中的加权阵选择[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1997, 37(1): 27-30.
- [17] 马瑞, 卢毅. H_∞ 控制器设计中的相关问题讨论[J]. 西北工业大学学报, 1996, 14(2): 259-264.
- [18] 薛定宇. 反馈控制系统设计与分析—Matlab 语言应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000. [编辑: 张翔]

(上接第22页)

- [3] HARRIS T J. Assessment of control loop performance[J]. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, 1989, 67(10): 856-861.
- [4] GRIMBLE M J. Controller performance benchmarking and tuning using generalized minimum variance control[J]. **Automatica**, 2002, 38(12): 2111-2119.
- [5] MAJECKI P, GRIMBLE M J. GMV and restricted structure GMV controller performance assessment multivariable case [C]//Proceeding of the 2004 American Control Conference, Boston, June 30-July 2, 2004: 697-702.
- [6] ZHAO Yu, SU Hong-ye. Multivariable control performance assessment based on generalized minimum variance benchmark[J]. **Process Systems Engineering Chinese Journal of Chemical Engineering**, 2010, 18(1): 86-94.
- [7] 邵裕森. 过程控制工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [8] KO B S, EDGAR T F. Performance assessment of cascade control loops[J]. **American Institute of Chemical Engineering**, 2000, 46(2): 281-291.
- [9] TEO T M, LAKSHMINARAYANAN S, RANGAIAH G P. Performance assessment of cascade control systems [J]. **Journal of the Institution of Engineers**, 2005, 45(6): 27-38.

[编辑: 张翔]