

文章编号: 1001-0920(2004)08-0857-05

一种新的基于模糊控制的电梯群控策略

李中华¹, 毛宗源¹, 邬依林²

(1. 华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广东 广州 510640; 2 广东教育学院 计算机科学系, 广东 广州 510303)

摘要: 从乘客的角度出发, 通过分析乘客需求, 推导了乘客最大冲击次数的估算公式, 提出了基于层站最长候梯时间和乘客最大冲击次数的一种新型电梯群控策略。该策略采用模糊控制设计, 符合人们对电梯服务水平的语言级评价。仿真结果表明, 乘客的乘梯时间和所经受的冲击次数较两种常规的群控策略有明显降低, 为研究符合乘客利益的电梯群控系统奠定了基础。

关键词: 电梯; 群控策略; 模糊控制

中图分类号: TP273.4 **文献标识码:** A

A novel strategy for elevator group supervisory control based on fuzzy control

LI Zhong-hua¹, MAO Zong-yuan¹, WU Yi-lin²

(1. College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2 Department of Computer Science, Guangdong Institute of Education, Guangzhou 510303, China
Correspondent: LI Zhong-hua, E-mail: honestlee@163.com)

Abstract: A novel strategy for elevator group supervisory control from the viewpoint of passengers is proposed, which considers both the mental need and the physical requirement of passengers. The formula of calculating the maximum number of passenger shocks is derived on the basis of the analysis of passenger demands. Based on maximum long-wait time and the maximum number of shocks, the strategy is realized by using fuzzy inference system. The simulation result shows that the average riding time and the number of the passenger shocks under are reduced greatly compared with the other two conventional elevator group control strategies.

Key words: elevator; elevator group supervisory control policy; fuzzy control

1 引言

电梯是现代社会的垂直运输工具, 特别是现代高层建筑的发展, 对电梯的服务性能和服务质量提出了更高的要求。为了提高高层建筑的客流转移速度, 通常将多台电梯(3~8台)安装在一起, 构成电梯群, 对大楼实行集中服务, 这就是电梯群控系统。大厦的客流转移速度取决于电梯群控制系统的运载能力和服务效能。

电梯乘客对电梯性能的评价十分重要, 作为公

共交通工具的电梯系统, 最重要的是为乘客提供安全感、舒适感。乘客对电梯的要求可分为两类, 生理上和心理上的, 即身体上的承受能力和心理上的承受能力^[1]。传统的电梯群控系统只考虑了心理承受能力, 而忽略了身体承受能力。实际上, 生理与心理上的舒适感密切相关, 生理上的不舒适会加剧乘客心理上的不愉快。因此, 电梯群控系统的设计不仅应考虑乘客心理需要, 更应从满足生理需要来促进心理要求的满足。

收稿日期: 2003-08-15; 修回日期: 2003-11-05

作者简介: 李中华(1977—), 男, 四川广安人, 博士生, 从事智能控制理论与应用等研究; 毛宗源(1936—), 男, 浙江江山人, 教授, 博士生导师, 从事工业自动化、控制系统分析与综合等研究。

随着人工智能技术的不断发展和成功应用,人们将人工智能的思想引入电梯群控系统,其中以模糊控制的研究居多.模糊控制是从行为上模拟人的模糊推理和决策过程的一种实用控制方法,具有推理简单、高效的特点^[2].文献[3~6]提出基于模糊控制的电梯群控系统,但没有考虑电梯的启动和停止对乘客生理产生的冲击.本文则从满足乘客心理和生理需求的角度出发,推导了乘客最大冲击次数的估算公式,通过估算乘客最长候梯时间和乘客最大冲击次数,运用模糊逻辑推理,实现楼层召唤在电梯群中的合理分配,提高了电梯对乘客的服务质量.

2 乘客需求分析

乘客对电梯的需要包括生理需求和心理需求,如何从生理和心理上满足乘客需要是设计电梯群控系统的基本出发点.

生理需求是指乘客对其在垂直平面内的运行方式提出的要求.人们在垂直平面内乘坐电梯承受加速度或减速度时,会引起体内器官的相对运动,从而产生不舒服的感觉,这就是重力加速度效应.根据专家经验,电梯的加、减速度应限制在 1.5 m/s^2 以内,而且加速度变化率应限制在 2.0 m/s^3 以内^[1].作为一套成熟的电梯产品,尽管它能将其加、减速度以及加速度变化率很好地限制在乘客可以接受的范围内,但乘客在一次乘梯过程中经受多次停靠,会对乘客身体造成多次冲击,从而产生不舒服的感觉.这种感觉取决于乘客的年龄和身体状况等因素.

乘客心理上的感觉更加微妙.这体现在不同的场所,不同的客流状况,一天内的不同时间段.候梯时间是影响乘客心理状态的主要因素,通常对于办公大楼,最长候梯时间应不超过 30 s,而对住宅楼,则不应超过 60 s.乘梯时间的长短是影响乘客心理状态的第 2 位因素.当乘梯时间超过 90 s 时,乘客会对电梯的停靠变得极不耐烦,其容忍程度取决于乘客当时的心情,是否有同伴同行,其他乘客的行为举止,轿厢的拥挤程度等因素.在现代高层建筑内,乘客对于候梯时间和乘梯时间的容忍度会有所宽容,但对候梯和乘梯时间应保持在适当的范围内的总体要求没有变化.乘客的乘梯时间,除取决于乘梯距离外,还取决于电梯的停靠次数,乘客在乘梯过程中经受的停靠次数(冲击次数)越少感觉越舒服.所以,从乘客的角度看,减少电梯的停靠次数,即减少乘客的冲击次数与降低乘客的乘梯时间在本质上是

3 电梯群控策略设计

在电梯群控系统中,每个楼层设有两个层站召唤按钮:上行召唤按钮和下行召唤按钮.电梯群控系统会及时为按下层站召唤按钮的乘客分配合适的电梯应答服务,其工作过程如下:

- 1) 乘客在第 3 站按下上行召唤按钮(假设乘客从第 3 站前往第 10 站);
- 2) 层站召唤信号传输到电梯群控系统;
- 3) 电梯群控系统选择合适的服务电梯应答乘客的层站召唤;
- 4) 电梯群控系统发送指令给被选中的服务电梯;
- 5) 被选中的服务电梯前往第 3 站,乘客进入轿厢;
- 6) 乘客选择目的层站,按下第 10 站的轿厢内指令按钮;
- 7) 服务电梯传输信号到电梯群控系统,运行到第 10 站;
- 8) 服务电梯到达第 10 站,乘客走出轿厢.

电梯群控系统不断地重复上述工作过程,完成大楼内的乘客转移.其中电梯群控系统为层站召唤选择合适电梯的过程称为层站召唤分配.层站召唤分配在电梯群控系统中扮演着重要的角色,电梯群控系统的性能取决于层站召唤分配方法.

估计电梯群控系统性能^[5]的评价标准有许多,本文基于满足乘客候梯和乘梯过程中心理和生理需要,采用如下两个标准:

- 1) 最长候梯时间:最长候梯时间是指将新层站的召唤分配给某台电梯后,所有层站候梯乘客的估计候梯时间中最长的候梯时间.通过控制乘客的最长候梯时间来达到满足乘客心理需求的目的.
- 2) 最大冲击次数:最大冲击次数是指将新的层站召唤分配给某台电梯后,轿厢内乘客和层站候梯乘客的估计冲击次数中最大的冲击次数.通过控制乘客乘坐电梯过程中承受的最大冲击次数来满足乘客的生理需求,从而起到满足乘客心里需求的作用.

在层站召唤分配时,层站召唤总是优先分配给最长候梯时间最小和乘客可能承受最大冲击次数最少的电梯来应答服务,以满足乘客上述两方面的需求,从而给乘客以舒适感.

3.1 最长候梯时间计算

降低乘客的候梯时间是满足乘客心理需求的主要因素,可通过控制电梯的层站最长候梯时间来

降低乘客的平均候梯时间 最长候梯时间的计算采用经典的最小长候梯时间算法^[6]。如图 1 所示, K 表示第 K 台电梯; i_x 表示已分配给电梯 K 的一个层站召唤信号, K 位于第 i 层, K 方向为 x (上行或下行); j_y 表示新产生的层站召唤信号, 位于第 j 层, 方向为 y ; $S(K, j_y)$ 表示电梯 K 从当前位置到产生召唤的第 j 层反向运行的距离

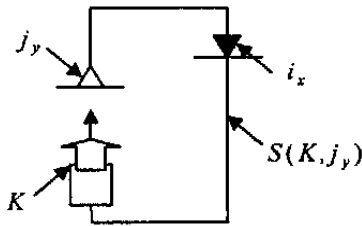


图 1 电梯 K 的状态描述

设在 t_1 时刻 i_x 召唤产生, 并已分配给电梯 K 应答。在 t_2 时刻, j_y 召唤产生, 假设分配给电梯 K 应答, 则在 t_2 时刻对 i_x 的候梯时间 $T_M^{(t_2)}(K, i_x)$ 估算如下:

$$\begin{cases} T_M^{(t_2)}(K, i_x) = T_W^{(t_2)}(i_x) + T_S^{(t_2)}(K, i_x), \\ T_W^{(t_2)}(i_x) = t_2 - t_1 \end{cases} \quad (1)$$

其中: $T_W^{(t_2)}(i_x)$ 是 i_x 已经等候的时间; $T_S^{(t_2)}(K, i_x)$ 是电梯 K 从 t_2 时刻到达层站 i 所需的估计时间, 该时间是电梯的运行时间和沿途停靠时间以及乘客转移时间的总和, $T_S^{(t_2)}(K, i_x)$ 的估算参见文献[6]。那么电梯 K 的最长候梯时间 $W_T(K)$ 可表述为

$$W_T(K) = \max\{T_M^{(t_2)}(K, i_x)\} \quad (2)$$

3.2 最大冲击次数计算

减少乘客承受的冲击次数是满足乘客生理需求的重要体现。电梯运行中的每次停靠(包括减速和加速两个阶段, 对乘客造成的冲击包括加速冲击和减速冲击)冲击次数为 2 次。显然, 乘客乘梯过程中至少经受 2 次冲击, 即离开出发站的加速冲击和到达目的站的减速冲击。在乘客到达目的站之前, 如果电梯有停靠, 则该乘客承受的冲击次数增加。自乘客进入轿厢后, 在电梯的加速和减速阶段, 乘客承受的冲击次数记录将被修改, 直到乘客离开轿厢。

如图 2 所示, 电梯的运行轨迹可分为 H_1, H_2 和 H_3 共 3 段, 新的层站召唤可位于其中的任何一段。其中以 H_1 段最为复杂, 它包括电梯 K 的轿内指令和层站召唤; 而在 H_2 和 H_3 段不存在轿内指令。下面以新召唤 j_y 位于 H_1 段为例, 估算电梯 K 的最大冲击次数。

设电梯 K 的当前运行方向是 y , 在电梯 K 运行的前方有轿内指令和已分配给电梯 K 的层站召唤,

i_y 是冲击次数待估算的轿内指令或层站召唤。在 t_2 时刻, 新召唤 j_y 产生, 显然, 在 y 方向上, j_y 后方的轿内指令和层站召唤(在 j_y 之后应答)以及 j_y 前方的层站召唤(在 j_y 之前应答)会受到影响, 而对 j_y 之前的轿内指令没有任何影响。于是, 假设新召唤 j_y 分配给电梯 K , 则乘客承受的冲击次数估算可归结为两类: j_y 后方的轿内指令和所有层站召唤的冲击次数估算。

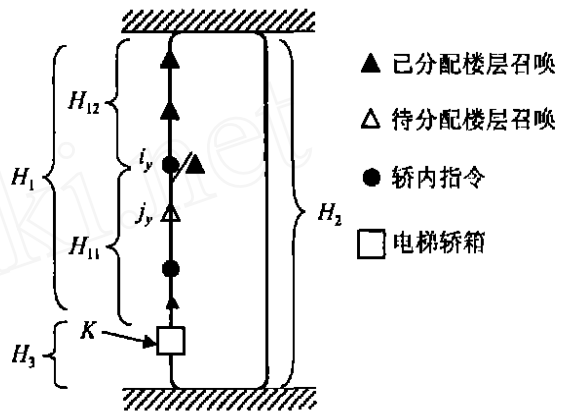


图 2 电梯 K 的任务描述

对于轿内指令 i_y 的冲击次数估算, 包括乘客已经承受的冲击次数 $shocked_r(i_y)$ 和将来可能承受的冲击次数 $shocking_r(K, i_y)$, 即

$$shock_r(K, i_y) = shocked_r(i_y) + shocking_r(K, i_y); \quad (3)$$

$$shocking_r(K, i_y) = \begin{cases} 2[N_c + N_{ch} + 2(N_h - N_{ch})] + 1, \\ N_c + N_{ch} + 2(N_h - N_{ch}) - N_i; \\ 2N_i + 1, N_c + N_{ch} + 2(N_h - N_{ch}) > N_i \end{cases} \quad (4)$$

化简得

$$shocking_r(K, i_y) = \begin{cases} 2N_c + 4N_h - 2N_{ch} + 1, \\ N_c + 2N_h - N_{ch} - N_i; \\ 2N_i + 1, N_c + 2N_h - N_{ch} > N_i \end{cases} \quad (5)$$

设在 y 方向上电梯 K 的当前位置到轿内指令 i_y 所在的第 i 层的区间为 H_{11} 段(不含两端), 则式(5)中: N_i 为 H_{11} 段内的楼层数, N_c 为 H_{11} 段内已分配的轿内指令数, N_h 为 H_{11} 段内已分配的层站召唤数, N_{ch} 为 H_{11} 段内电梯 K 同时存在轿内指令和层站召唤的楼层数。

对于层站召唤 i_y 的候梯乘客承受的冲击次数估算, 按目的层最远的原则计算, 在第 i 层到前方终端之间的停靠都视为对该乘客的冲击, 那么其冲击

次数为

$$\text{shock}_w(K, i_y) = \text{shocking}_w(K, i_y) = \begin{cases} 2[N_c + N_{hf} + 2(N_{hb} - N_{chb})] + 2, \\ N_c + N_{hf} + 2(N_{hb} - N_{chb}) & N_i; \\ 2N_t + 2, N_c + N_{hf} + 2(N_{hb} - N_{chb}) > N_i \end{cases} \quad (6)$$

设在 y 方向上电梯 K 的当前位置到层站召唤 i_y 所在的第 i 层的区间为 H_{11} 段(不含两端), 第 i 层到前方端站的区间为 H_{12} 段(不含两端). 那么, 式(6)中: N_t 为 H_{12} 段内的楼层数, N_c 为 H_{12} 段内已分配的轿内指令数, N_{hf} 为 H_{11} 段内已分配的层站召唤数, N_{hb} 为 H_{12} 段内已分配的层站召唤数, N_{chb} 为 H_{12} 段内电梯 K 同时存在轿内指令和层站召唤的楼层数

当新召唤 j_y 位于 H_2 或 H_3 段时, 电梯 K 的最大冲击次数的估算也有类似的情况, 仅有的区别是不再有轿内指令冲击次数的估算

在估算出轿内乘客和层站候梯乘客的冲击数后, 乘坐电梯 K 的乘客可能承受的最大冲击数为

$$\text{SHOCK}(K) = \max\{\text{shock}_r(K, i_y), \text{shock}_w(K, i_y)\} \quad (7)$$

估算出的最长候梯时间和最大冲击次数可直接作为模糊推理系统(FIS)的输入变量

4 电梯群控系统的模糊控制

在充分考虑乘客真实需求后, 一个全新的基于模糊控制的电梯群控策略原理框图如图3所示. 图中: 输入变量是 $W_T(K)$ 和 $\text{SHOCK}(K)$, 输出变量是 $M_D(K)$. $W_T(K)$ 代表电梯 K 可能的最长候梯时间, $\text{SHOCK}(K)$ 代表电梯 K 乘客可能承受的最大冲击数, $M_D(K)$ 代表电梯 K 与待分配召唤间的匹配度

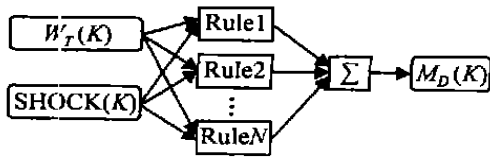


图3 模糊推理系统原理图

模糊控制的核心部分是确定输入、输出变量的隶属函数和产生模糊推理规则. 该系统中, 输入变量 $W_T(K)$, $\text{SHOCK}(K)$ 和输出变量是 $M_D(K)$ 的隶属函数, 分别如图4~图6所示. 输入变量 $W_T(K)$ 和 $\text{SHOCK}(K)$ 经模糊化后才能为 FIS 识别, FIS 的输出结果需反模糊化才能得到清晰的 $M_D(K)$. 图4中用“短”、“适中”、“长”和“很长”作为候梯时间 $W_T(K)$ 的语言变量; W_M, W_L, W_V 是 $W_T(K)$ 隶属函

数的控制参数, 由乘客对候梯时间认可度决定. 图5中用“少”、“正常”和“多”作为冲击次数 $\text{SHOCK}(K)$ 的语言变量; S_F, S_N, S_M 是 $\text{SHOCK}(K)$ 的隶属函数的控制参数, 由乘客对承受的冲击次数评价决定. 随着电梯客流模式的变化, 人们对候梯时间和冲击次数两个指标的评价也是变化的, 因而上述参数是可调的, 以客观地评价电梯的状态和服务性能. 在正常客流模式下, 该系统取 $W_M = 90$ s, $W_L = 180$ s, $W_V = 270$ s; $S_F = 2, S_N = 7, S_M = 12$

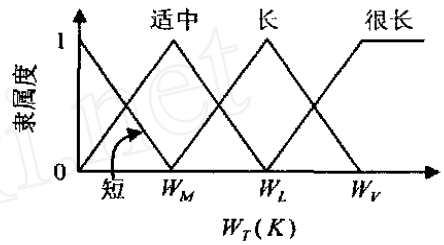


图4 $W_T(K)$ 的隶属函数

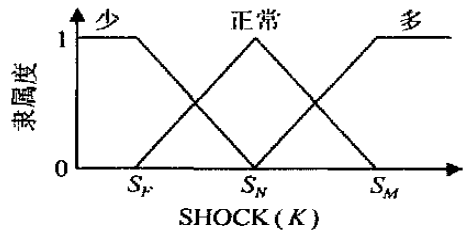


图5 $\text{SHOCK}(K)$ 的隶属函数

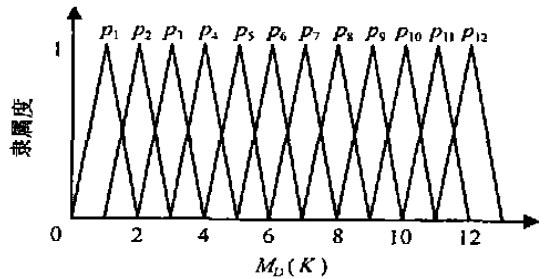


图6 $M_D(K)$ 的隶属函数

如图6所示, FIS 的输出变量 $M_D(K)$ 的隶属函数采用12个语言变量 $p_1 \sim p_{12}$, 构成12个模糊评判等级. 每个模糊变量函数的中心值均匀分布, 此处间隔值设为1.0

在确定输入、输出变量的隶属函数后, 需确定模糊推理规则的产生. 根据电梯的服务特点和乘客对电梯的要求, 电梯模糊群控系统的模糊推理规则如表1所示. 最长候梯时间 $W_T(K)$ 越短, $M_D(K)$ 越大. 同理, 最大冲击次数 $\text{SHOCK}(K)$ 越少, $M_D(K)$ 越大

表 1 模糊推理规则表

SHOCK(K)	$W_T(K)$			
	短	适中	长	很长
小	p ₁₂	p ₉	p ₆	p ₃
正常	p ₁₁	p ₈	p ₅	p ₂
多	p ₁₀	p ₇	p ₄	p ₁

模糊推理过程就是运用模糊逻辑进行从输入量到输出量的映射过程, 可以分为以下 5 个步骤: 输入量的模糊化; 模糊逻辑运算; 模糊蕴涵; 模糊合成; 输出量的清晰化。在模糊推理系统中有两种常用的模糊推理算法模型: Mamdani 型和 Sugeno 型。该模糊推理系统采用 Mamdani 型算法, 在模糊逻辑运算阶段采用 min-max 运算, 在模糊蕴涵阶段采用 min 运算, 在模糊合成阶段采用 max 运算, 在输出清晰化阶段采用重心法, 求出的中心点作为模糊推理的输出结果。

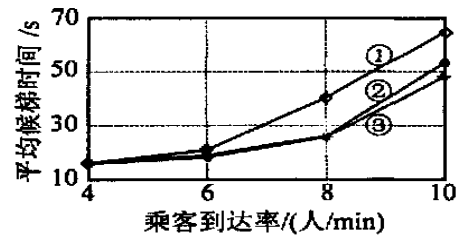
在求出每台电梯与待分配层站召唤的匹配度后, 比较它们的匹配度, 选择具有最大匹配度的电梯应答待分配的层站召唤。如果两台或两台以上的电梯具有相同的匹配度, 则选择候梯时间最小的电梯; 如果候梯时间相同, 则随机选择其中一台电梯作为服务电梯。

5 仿真实验

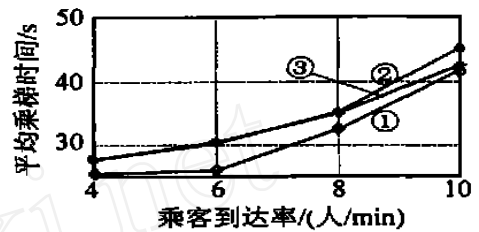
仿真试验在基于 Matlab6.1 的面向对象的电梯群控仿真平台上进行。该仿真平台采用基于事件和时间的混合扫描方式, 时间扫描间隔设定为 1 s, 事件扫描为候梯乘客的到达。假定乘客的到达时间间隔服从泊松过程, 当有乘客第一个到达某楼层按下层站召唤按钮时, 该乘客就是该方向上的候梯队列队首, 群控系统根据其群控策略进行层站召唤分配; 当乘客到达之前已有同向乘客候梯时, 该乘客直接进入候梯队列, 群控系统不再对其进行层站召唤分配。

仿真平台的参数设置: 楼层数 $N = 21$, 电梯数 $m = 4$, 电梯额定载荷 $W = 1\ 000\text{ kg}$ (15 人), 电梯额定速度 $V = 1\text{ s/层}$, 乘客转移时间 $t_p = 1.2\text{ s}$, 开门时间 $t_o = 3\text{ s}$, 关门时间 $t_c = 3\text{ s}$, 加速时间 $t_{acc} = 3\text{ s}$, 减速时间 $t_{dec} = 3\text{ s}$, 仿真时间 3 600 s。交通流分布设定为: 1 楼到其他楼层 30%, 其他楼层到 1 楼 30%, 其他楼层到其他楼层 40%。

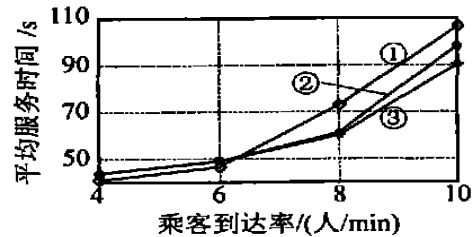
仿真结果如图 7 所示。图中: 表示本文的模糊群控算法, 代表经典的最小长候梯算法, 代



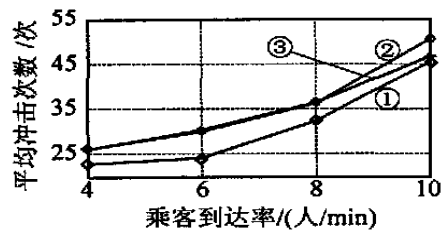
(a) 平均候梯时间



(b) 平均乘梯时间



(c) 平均服务时间



(d) 平均冲击次数

图 7 仿真结果比较

表传统的模糊群控算法^[3]。图 7 对电梯服务性能和服务质量的几个主要指标(平均候梯时间, 平均乘梯时间, 平均服务时间和冲击次数)进行了比较。随着乘客到达率的增加, 各个性能指标值都呈指数增长。在 3 种群控算法的对比中发现, 本文采用的群控算法对平均乘梯时间和冲击次数起到了很好的抑制作用, 尤其在客流到达率相对较轻的情况下效果更加明显。乘梯时间的改善间接源于乘客对乘梯过程中承受的冲击次数的减少。然而, 冲击次数和乘梯时间指标的改善, 却付出了增加候梯时间的代价, 但从满足乘客生理需求的角度看, 这是值得的。

(下转第 866 页)

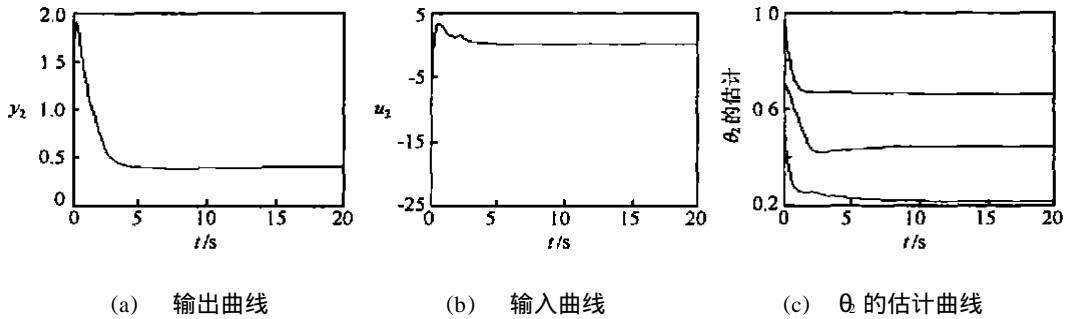


图2 子系统2的响应曲线

0.5, $c_{12} = d_{12} = c_{22} = d_{22} = 1$, $r_{11} = r_{21} = 1$, $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0.1I_3$; 状态初值: $x_{11}(0) = x_{12}(0) = 1$, $x_{21}(0) = x_{22}(0) = 2$, $\hat{x}_{11}(0) = \hat{x}_{12}(0) = 1$, $\xi_1(0) = 1$, $\xi_2(0) = 2$, $\mathbf{L}_1(0) = \mathbf{L}_2(0) = 0.5$, $\hat{\theta}_1(0) = \hat{\theta}_2(0) = [0.5, 1, 0.7]^T$. 其余的状态初值皆取为零. 图1和图2给出了自适应控制系统的响应曲线, 仿真结果验证了该方法的有效性.

5 结论

本文给出了基于MT-滤波器的鲁棒分散自适应输出反馈控制器的设计和分析. 新滤波变换的引入使得自适应律中的所有信号皆可实现. 从理论上严格地证明了除参数估计全局一致有界外, 闭环系统的其他信号皆以指数速率收敛到零.

参考文献(References):

[1] Jiang Z P. Decentralized and adaptive nonlinear tracking of large-scale systems via output feedback [J]. *IEEE*

Trans on Automatic Control, 2000, 45(11): 2122-2128

[2] Wen C Y, Hill D J. Global boundedness of discrete-time adaptive control by parameter projection [J]. *Automatica*, 1992, 28(10): 1143-1157.

[3] Wen C Y. Indirect robust totally decentralized adaptive control of continuous-time interconnected system [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1994, 39(5): 953-957.

[4] Zhang Y, Wen C Y, Soh Y C. Robust decentralized adaptive stabilization of interconnected systems with guaranteed transient performance [J]. *Automatica*, 2000, 36(7): 907-915.

[5] Krstic M I, Kokotovic P V. *Nonlinear and Adaptive Control Design* [M]. New York: John Wiley & Sons, 1995.

[6] Bannou P A, Sun J. *Robust Adaptive Control* [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.

(上接第861页)

6 结语

通过比较研究发现, 本文提出的模糊控制方案效果良好. 该方案综合考虑了乘梯的生理需求和心理需求, 为开发出全面满足人们需求的电梯群控系统作了有益的尝试. 本文只考虑了客流均衡的情况, 而且参数不变, 这难以适应一天内不断变化的客流模式. 因此, 下一步的工作是研究出参数自调整的电梯模糊群控系统, 以切实满足用户生理和心理上的需要.

参考文献(References):

[1] Barney G C, Santos S M dos. *Elevator Traffic Analysis, Design and Control* [M]. England: IEE Peter Peregrinus Ltd, 1985.

[2] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.

[3] Ishikawa T, Miyauchi A, Kaneko M. Supervisory control of elevator group by using fuzzy expert system

which also addressing traveling time [A]. *Proc of the 2000 IEEE Int Conf on Industrial Technology* [C]. Bangalore, 2000: 87-94.

[4] Gudwin R, Gomide F, Andrade Netto M. A fuzzy elevator group controller with linear context adaptation [A]. *Proc of the 1998 IEEE Int Conf on Fuzzy Systems* [C]. Anchorage, 1998: 481-486.

[5] Kim C B, Seong K A, Lee-Kwang H, et al. Design and implementation of a fuzzy elevator group control system [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, 1998, 28(3): 277-287.

[6] Sogawa Y, Ishikawa T, Igarashi K. Supervisory control for elevator group by using fuzzy expert system which addresses the riding time [A]. *Proc of the 1996 IEEE IECON 22nd Int Conf on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation* [C]. Taipei, 1996: 419-424.