

目的层预约与多智能体协调的电梯群控调度方法^①

陈海啸, 杨马英

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 针对电梯群控调度过程中交通流和乘客目的楼层的不确定性, 为克服集中式群控系统计算瓶颈问题, 提出了基于目的层预约结合多智能体技术的电梯群控调度方法。首先, 设计了该电梯群控调度系统的结构, 分析了目的层预约的多目标评价函数; 然后, 提出基于模糊逻辑的电梯交通模式在线识别方案, 实现实时地更新不同交通模式下对应的各控制目标的权系数; 最后, 结合多智能体技术具有良好的实时性和自主性的特点, 将各轿厢运行控制器和群控制器映射为多个代理, 通过各个代理之间协调多目标优化任务以得到平均候梯时间、平均乘梯时间及能源消耗整体最优的分布式电梯群控调度算法。

关键词: 电梯群控; 目的层预约; 多智能体; 多目标优化

Elevator Group Control Scheduling Based on Destination Reservation and Multi-agent Coordination

CHEN Hai-Xiao, YANG Ma-Ying

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: To deal with the uncertainty of the elevator traffic flow and the destination of passengers, overcome the computing bottleneck existed in collective EGCS, an elevator group control scheduling method is proposed based on destination registration and multi-agent coordination. The EGCS was firstly designed and the multi-objective evaluation function of destination registration was demonstrated. Then, the online update of elevator traffic pattern recognition based on fuzzy logic was proposed, to update different traffic modes corresponding to the weights of the control objectives in real-time. At last, the elevator car and group controller can be mapped to different agents. The distributed elevator group control scheduling is to implement a multi-objective optimization by various agents, with a coordination of minimum average waiting time (AWT), average riding time (ART), congestion degree (CD) and energy consumption (EC).

Key words: elevator group control scheduling; destination reservation; multi-agent; multi-objective optimization

电梯群控系统 (Elevator Group Control System, EGCS) 是一类具有高复杂度和实时性要求的多目标动态调度问题。近年来, 随着城市高层智能大厦不断的增加, 以群控方式调度电梯已经非常普遍。分区调度、启发搜索式等传统的算法已不能满足复杂的电梯群控调度需求。模糊逻辑、神经网络、强化学习等智能算法^[1-2]的发展在很大程度上提高了电梯调度的效率, 在处理计算复杂性方面体现了一定的优势, 但对于交通流和乘客目的楼层不确定性的处理是电梯群控调度的

一个难点。宗群教授^[3]提出的鲁棒优化与多智能体协调的电梯群控调度算法, 在一定程度上改善了交通流不确定性和计算的复杂性问题, 提高了电梯群控调度的性能。

随着电梯智能调度技术的发展, 传统的电梯群控系统结构也发生了变化。伴随传统电梯群控系统结构的改进, 出现了一些新型的电梯控制系统, 如双层轿厢电梯的群控系统、多轿厢电梯的控制系统和目的楼层呼梯群控系统^[4]。例如, 文献[5]提出的基于遗传网

^① 收稿时间:2011-10-20;收到修改稿时间:2011-11-21

络的双层轿厢的电梯群控系统,大幅度减少了轿厢的停车次数,提高了运送能力,但是对乘客输送的自由度带来了不便;文献[6]提出的基于遗传网络的多轿厢电梯群控系统,适合超高层大楼,大大减少了电梯系统占用的空间,提高了乘客处理能力,但系统的控制设计较复杂。目前,国内外对目的楼层预约模式的群控研究还处于起步阶段^[7]。本文提出基于目的层预约与多智能体协调的电梯群控调度方法。将传统的内外呼叫控制面板集合在一起安置在厅门口,以便达到提前预约目的层的作用,然后结合多智能体和基于模糊逻辑的交通模式的识别方法,实现多目标优化使乘梯服务成本达到最优。由于可以提前接受起始层目的层呼梯信息,对每个呼梯信号进行一个提前的整体规划,在一些电梯交通流不确定的环境中,与专家系统、模糊控制、神经网络等算法相比,算法既直接又具有更好的灵活性,可实时识别不同的交通模式,对以往的数据依赖少。而分布式多智能体技术则克服了集中式群控系统的计算瓶颈,使电梯群控具有更好的实时性。

1 目的层预约的电梯群控结构

目的层预约的电梯群控系统,就是将传统的电梯系统的轿厢内层楼呼梯按钮和电梯门厅上下呼梯按钮一起被具体楼层数的数字呼梯按钮替代,这样我们可以利用门厅前的数字按钮提前预约起始点和目的地,这种起始点目的地确定的交通流可以提前让电梯系统做一个优化的选择,使电梯服务成本达到最小。

目的层预约的电梯群控系统结构如图 1 所示。呼梯分配形式可以描述为:根据呼梯控制板得到一个呼梯信号 $Q_i[o \ d]$,其中 i 表示第 i 个呼梯信号, o 为起始层, d 为目的层。 $d-o>0$ 说明这是向上乘梯的呼叫信息, $d-o<0$ 则说明是向下乘梯的呼叫信息。全部的呼梯信号可以组成统一队列 $F(Q_1[o \ d], Q_2[o \ d], \dots, Q_i[o \ d])$ 。然后,根据呼梯的先后,将这类标识了起始—目的层的呼梯信号向所有的轿厢 agent 发出招标信息,等待轿厢 agent 返回响应报价。轿厢 agent 收到招标请求后,根据多目标评价函数,计算出响应此招标信息的服务成本,并作为报价发送至群控制器。群控制器收到所有轿厢 agent 返回的报价信息后,选取报价最低(服务成本最低)的轿厢来响应此呼梯信号,并确认派梯。

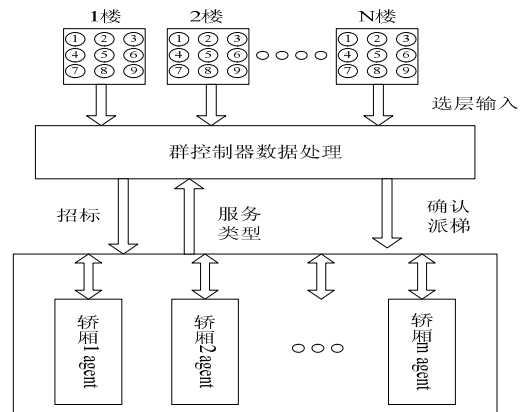


图 1 目的层预约的多智能体电梯群控结构

目的层预约的电梯群控系统,使电梯的客流管理基本理念产生了转变,通过让乘客进梯前对目的层进行预约,使群控系统对乘客流向分组,把要求到达同一楼层或楼层相近的乘客分配到同一电梯,这样在增加乘客处理能力的同时,还能减少中间停靠次数、能耗和机械损耗,大大提高了电梯运行效率。

2 目的层预约的多目标群控算法

假定群控系统由 M 部电梯组成,楼层数为 N ;用 $E_k[c \ f]$ 表示第 k 台电梯的状态, c 表示电梯运行到的当前楼层, f 表示电梯运行的方向(规定 f 为 1 时运行方向向上, f 为 -1 时运行方向向下, f 为 0 时电梯静止),第 k 台电梯的轿厢服务队列可以表示为 $P_k(q_1, q_2, \dots, q_m)$, q_m 表示电梯轿厢需要停靠的楼层。设电梯行驶一层所需的时间为 T_1 ,停靠一次大约的时间为 T_2 。

设 $AWT(i)$ 为平均候梯时间函数, $ART(i)$ 为平均乘梯时间函数, $CD(i)$ 为轿厢拥挤度函数, $EC(i)$ 为能耗函数。

设当呼梯信号 $Q_i[o \ d]$ 到来时,第 k 台电梯响应该信号的预期等候时间为 $AWT_k(i)$,乘梯时间为 $ART_k(i)$ 。则可计算 $AWT_k(i)$ 和 $ART_k(i)$ 如下:

1) 若呼梯方向与电梯运行方向相同,且电梯运行在呼梯层的前方,则

$$AWT_k(i) = |Q_i(o) - E_k(c)| * T_1 + N(k) * T_2 \quad (1)$$

$$ART_k(i) = |Q_i(d) - Q_i(o)| * T_1 + M(k) * T_2 \quad (2)$$

式(1)中 $Q_i(o)$ 和 $Q_i(d)$ 是呼梯的起始层和目的层, $E_k(c)$ 是电梯运行的当前层, $N(k)$ 是第 k 部电梯响应

呼梯信号 $Q_i[o, d]$ 之前的停靠次数, $M(k)$ 为 $Q_i[o, d]$ 呼梯的起始层到目的层之间的停靠次数, 可由轿厢服务队列确定。

2) 若呼梯方向与电梯运行方向相同, 但电梯运行在呼梯层的后方, 或呼梯方向与电梯运行方向相反时, 则可计算 $AWT_k(i)$ 和 $ART_k(i)$ 如下:

$$AWT_k(i) = (|P_k(q_{max}) - E_k(c)| + |P_k(q_{max}) - Q_i(o)|) * T_1 + N(k) * T_2 \quad (3)$$

$$ART_k(i) = |Q_i(d) - Q_i(o)| * T_1 + M(k) * T_2 \quad (4)$$

式(3)中 $P_k(q_{max})$ 表示服务队列中注册的最远的楼层。

第 k 台电梯的轿厢拥挤度可以用轿厢里的人数 $P(k)$ 与轿厢的容量 P_{max} 之比来表示。

$$CD_k(i) = \frac{P(k)}{P_{max}} \quad (5)$$

第 k 台电梯的系统能耗可以按到达目的层的停靠次数来估计, 设启用能耗 C 来表示电梯的停靠和启动过程中的启动能耗、减速能耗、开门能耗和关门能耗之和, 则

$$EC_k(i) = C * S(k) \quad (6)$$

其中, $S(k)$ 为第 k 台电梯响应呼梯信号的起始层到目的层的停靠次数。

根据上述定义, 可以建立多目标评价函数:

$$J_k(i) = w_1 * \frac{AWT_k(i)}{\max(AWT(i))} + w_2 * \frac{ART_k(i)}{\max(ART(i))} + w_3 * \frac{CD_k(i)}{\max(CD(i))} + w_4 * \frac{EC_k(i)}{\max(EC(i))} \quad (7)$$

式中 w_i ($i=1,2,3,4$) 为权系数, 满足 $0 \leq w_i \leq 1$, $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$, w_i 的不同表明了对四个控制目标的不同侧重。由此可以确定最优评价函数为:

$$J(i) = \min\{J_1(i), J_2(i), \dots, J_k(i)\} \quad (8)$$

根据上述所示, 起始层目的层确定的综合评价函数 $J_k(i)$ 的值反映了第 k 台电梯响应呼梯信号 $Q_i[o, d]$ 的综合化指标。

3 电梯交通模式的在线识别

采用乘客 OD 矩阵记录某一段时间内乘客的交通情况的分布, 如式(9)所示, OD_{ij} 表示从 i 楼出发到 j 楼的人数。本文通过 OD 矩阵每过五分钟对电梯的交通

流情况进行统计, 然后用模糊逻辑识别交通模式, 并借助专家知识更新不同交通模式下对应的各控制目标的权系数值。

$$OD = \begin{bmatrix} OD_{11} & OD_{12} & \dots & OD_{1N} \\ OD_{21} & OD_{22} & \dots & OD_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ OD_{N1} & OD_{N2} & \dots & OD_{NN} \end{bmatrix} \quad (9)$$

1) 输入层。根据 OD 矩阵记录的乘客流信息, 可以提取出模糊逻辑交通模式识别的各输入量, 即进入客流 (x_1)、外出客流 (x_2)、层间客流 (x_3) 各自所占的比例:

$$x_1 = \frac{100 \times (OD_{11} + OD_{12} + \dots + OD_{1N})}{OD_{11} + \dots + OD_{NN}} \quad (10)$$

$$x_2 = \frac{100 \times (OD_{11} + OD_{21} + \dots + OD_{N1})}{OD_{11} + \dots + OD_{NN}} \quad (11)$$

$$x_3 = \frac{100 \times (OD_{22} + \dots + OD_{NN})}{OD_{11} + \dots + OD_{NN}} \quad (12)$$

2) 输入量的模糊化。该层的节点的个数与输入变量的模糊子集个数有关, 结合交通构成的隶属函数, 将输入变量 x_1, x_2, x_3 的各模糊子集的意思分别为“大”、“中”、“小”。

3) 模糊推理。根据 3 种交通流的不同程度, 可以推理得到 9 条判别不同交通模式的规则, 如表 1 所示。

表 1 交通模式的规则

进入客流	外出客流	层间客流	交通模式
大	小	小	上高峰模式
小	大	小	下高峰模式
小	小	大	层间模式
中	小	小	上高峰模式
小	中	小	下高峰模式
小	小	中	层间模式
中	中	小	混合模式
中	小	中	混合模式
小	中	中	混合模式

4) 权系数选择。通过专家知识结合实验仿真, 确定不同交通模式下的各控制目标的权系数值如表所示:

表 2 主要交通模式对应权系数

	w_1	w_2	w_3	w_4
上高峰模式	0.5	0.4	0.05	0.05
下高峰模式	0.5	0.4	0.05	0.05
层间模式	0.45	0.3	0.1	0.15
混合模式	0.5	0.3	0.1	0.1

根据以上分析, 本文通过每隔 5 分钟对电梯交通模式进行识别, 从而起到实时更新权系数的作用。与以往的交通模式识别相比, 本文提出的在线识别交通模式的方案具有更好的灵活性和实时性。然后, 结合基于多智能体的分布式群控系统的 agent 协商^[8]过程, 形成相应的目的层预约的多智能体优化群控算法, 对群控整体进行全局性优化。

4 目的层预约的多智能体群控算法

目的层预约的多智能体群控算法主要包括轿厢服务算法及群控制器电梯分派算法。

4.1 轿厢服务的分类

轿厢服务是根据电梯当前运行方向、所在楼层、负载状况、已登记的轿厢服务队列 $P_k(q_1, q_2, \dots, q_m)$ 和呼梯信号 $Q_i[o, d]$, 结合多目标评价函数形成对呼梯信号的绝对服务、拒绝服务和相对服务 3 类^[9]:

1) 绝对服务: 表示轿厢一定会停靠在呼梯信号所在楼层, 一般发生在下列情况下:

a) 轿厢服务队列中含有呼梯信号所在的楼层, 且轿厢当前运行方向与呼梯信号的运行方向相同。

b) 当在底楼或顶楼呼梯时(底楼和顶楼必须停靠的规定), 轿厢服务队列中含有呼梯信号所在的楼层, 且呼梯信号的运行方向与轿厢的当前运行方向相反。

2) 拒绝服务: 表示轿厢不能为当前的呼梯信号提供服务。一般发生在轿厢满载, 且服务队列中没有在呼梯信号楼层停靠的指令。

3) 相对服务: 表示轿厢能够响应该呼梯, 但需经群控制器分派, 一般发生在不产生绝对服务及拒绝服务的其他情况下。

4.2 轿厢服务的算法

根据以上对轿厢服务的分类及定义, 可设计轿厢对呼梯信号 $Q_i[o, d]$ 的服务算法, 描述如下:

- 1) 接收呼梯信号 $Q_i[o, d]$ 招标请求;
- 2) 若轿厢满载, 且服务队列中无呼梯信号所在楼

层停靠指令, 则生成拒绝服务。转 6);

3) 比较呼梯信号 $Q_i[o, d]$ 与轿厢服务队列 $P_k(q_1, q_2, \dots, q_m)$ 和电梯当前状态 $E_k[c, n]$, 若呼梯方向与轿厢的运行方向相同, 且电梯还未运行到电梯呼叫起始层, 或轿厢服务队列中包含呼梯信号的起始层或目的层, 则优先服务, 否则按式(1)(2)分别计算 $AWT_k(i)$ 和 $ART_k(i)$, 转 5) 计算绝对服务;

4) 若呼梯方向与电梯运行方向相同, 但电梯已经运行通过了电梯呼叫起始层, 或呼梯方向与电梯运行方向相反时, 按式(3)(4)计算 $AWT_k(i)$ 和 $ART_k(i)$, 转 5) 计算相对服务;

5) 按式(5)(6)(7), 计算服务成本 $J_k(i)$;

6) 算法结束。

4.3 群控制器电梯分派算法

收集到所有轿厢返回的服务后, 群控制器先要对服务分类和评价。群控制器电梯分派算法如下:

1) 收集所有轿厢返回的服务, 丢弃拒绝服务, 若全部报价都为拒绝服务, 则视为服务请求未获响应, 等待一段时间后重新招标, 转 5)。

2) 若有绝对服务, 选择绝对服务中最优的电梯响应呼梯信号, 转 4)。

3) 选择相对服务最优的电梯响应呼梯信号。

4) 与获得指派的电梯签订合同。

5) 算法结束。

综上分析, 可以得到如图 2 所示的目的层预约的多智能体群控流程图。

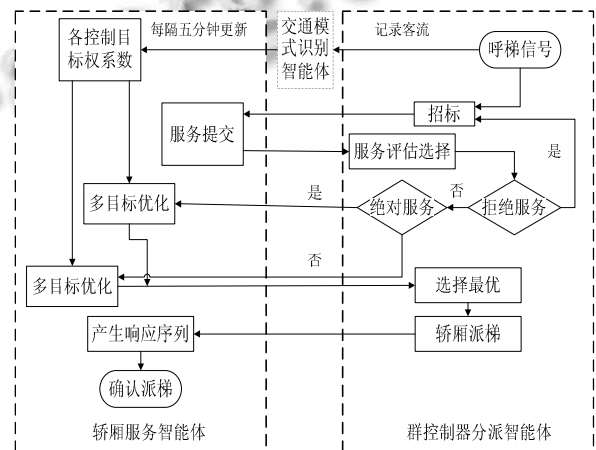
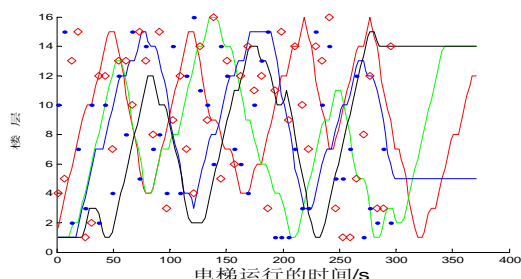


图 2 目的层预约的多智能体群控流程图

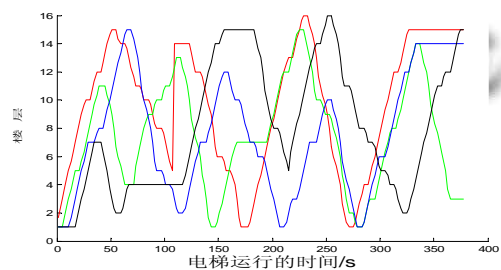
5 算法仿真及其结果分析

设某建筑物的层数为 16 层, 设置 4 台电梯。电梯运行一层的时间为 3 秒, 启停一次的时间为 5 秒。电

梯 agent 每隔 2 秒更新一次状态。仿真中每 6 秒钟来一个起始一个目的层呼梯信号，每个呼梯进入 3 个乘客。图 3 和图 4 所示分别为两种不同模式下的目的层预约和非预约情况下响应呼梯信号的电梯群控仿真结果。

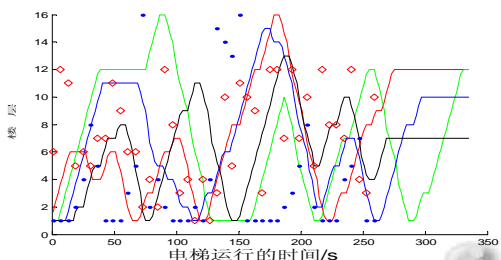


(a) 目的层预约的多智能体调度

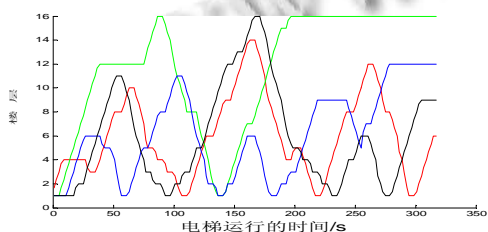


(b) 非预约型多目标调度

图 3 层间模式下的电梯调度仿真结果



(c) 目的层预约的多智能体调度



(d) 非预约型多目标调度

图 4 上高峰模式下的电梯调度仿真结果

图的点代表呼叫的起始层，圈代表呼叫的目的层，四条不同颜色的线代表四台电梯的运行轨迹。通过仿

真计算得到两种调度方式下的电梯启停次数、乘客平均乘候梯时间和拥挤度，如表 3 所示。

表 3 两种调度仿真结果比较

	层间模式		上高峰模式	
	非预约型多目标调度	目的层预约的多智能体调度	非预约型多目标调度	目的层预约的多智能体调度
电梯启停/s	72	64	61	51
平均乘候梯时间/s	51.1	32.4	46	33
拥挤度	0.42	0.46	0.43	0.5

从表 3 可以看出，在层间模式下，基于目的层预约的多智能体调度的电梯启停次数和平均乘候梯时间分别减少了 11% 和 35%，验证了基于目的层预约的多智能体调度有效的提高了电梯系统的性能。而且在高峰模式下，基于目的层预约的多智能体调度的电梯群控系统可以有效的对乘客流进行分组处理，减少启停次数，提高电梯运行效率。

6 结语

本文提出了基于目的层预约和多智能体优化的电梯群控调度方法，减少了调度过程的复杂性，通过对到达目的楼层的乘客分组，减少了中间停靠次数，大大提高了电梯系统的效率，在增加乘客处理能力的同时，还能减少服务完成时间，减少启动，减少能量消耗，减少机械损耗。仿真结果表明，基于目的层预约的多智能体电梯群控调度具有很强的可行性，结合基于模糊逻辑的电梯交通模式的在线识别，使得多目标优化结果令人满意。可以预见，目的层预约的电梯模式是未来电梯群控系统的发展方向，它和多智能体的分布式调度技术相结合，可以很好地解决乘客人流的不确定性和电梯群控的实时性问题。

参考文献

- 1 Kim CB, Seong KA, Kwang HL, Kim JO. Design and implementation of a fuzzy elevator group control system. *Systems and Humans*, 1998,28(3):277-287.
- 2 杨祯山,邵诚.电梯群控技术的现状与发展方向. *控制与决策*,2005,20(12):1321-1330.

(下转第 55 页)

家系统从知识库中将参数读取,利用系统可以修改模型库中模型尺寸参数,自动生成新的几何模型,再由规则库和推理机加载选定工况、约束情况,确定气体导入机构、基板回转机构、电阻加热机构等控制方案,最后输出结果文件。

图 4 为真空镀膜机产品配置方案设计系统界面。



图 4 真空镀膜机产品配置方案设计系统

根据实际要求或客户指定电子枪规格,专家系统从案例库中查询案例,推理得出坩埚台类别和尺寸,并可以自动推理出最优驱动方式也可以手动选择,包括电子枪挡板、加热机构类型等,形成一套完善的、准确的配置方案。

6 结论

研发了基于知识工程的真空镀膜机模块化设计系统,根据客户的需求,设定约束条件,通过知识库、模型库系统实现真空镀膜机的知识和设计经验的重复

使用,产生真空镀膜机的总体配置方案,并由配置方案提供驱动参数,再对模型进行修改,自动装配到总体配置的参数模型中。并自动生成物料清单、产品设计式样书、客户联络书等文件。利用此设计系统,大大缩短了真空镀膜机的设计周期,节约了设计成本,并对企业知识的积累起到了积极的促进作用。

参考文献

- 1 Gu P, Sosale S. Product modularization for life cycle engineering. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*. 1999,15:387-401.
- 2 张松林. 机械产品两种模块化设计方法. *交通与计算机*, 2001, 3.
- 3 高飞,肖刚,等. 产品功能模块划分方法. *机械工程学报*, 2007, 43(5):29-35.
- 4 江伟光,武建伟. 面向知识工程的产品信息模型. *农业机械学报*, 2008, (7):133-138.
- 5 夏正行,仲梁维,朱娟. 基于知识工程的岸桥数字化样机设计系统. *计算机系统应用*, 2011, 20(5):1-5.
- 6 于晓,仲梁维,等. 基于产品的 BOM 自动生成方法. *精密制造与自动化*, 2006, (3).
- 7 Gershenson JK, Prasad GJ, Zhang Y. Product modularity: definitions and benefits. *Journal of Engineering Design*, 2003, 14(3):295-313.
- 8 江志农,徐文明. 基于 CBR 的旋转机械故障诊断专家系统的设计. *组合机床与自动化加工技术*, 2011, 8(8):43-51.
- 9 郑甲红,郭文举,等. 基于 CBR 的机械系列产品模块化设计. *机械设计与制造*, 2009, 3(3):245-258.

(上接第 94 页)

- 3 宗群,窦立谦,刘文静,王维佳. 鲁棒优化与多智能体协调的电梯群控调度. *计算机集成制造系统*, 2008, 14(3):563-567.
- 4 杨祯山,张筠莉. 电梯群控系统的结构及其技术发展趋势. *中国电梯*, 2010, 21(1):14-19.
- 5 Hirasawa K, Eguchi T, Zhou J, Yu L, Hu JL, Markon S. A double-deck elevator group supervisory control system using genetic network programming. *Applications and Reviews*, 2008, 38(4):535-550.
- 6 Yu L, Mabu S, Zhang TT, Eto S, Hirasawa K. Multi-car elevator group supervisory control system using genetic-

network programming. 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2009). 2009: 2188-2193.

- 7 罗飞,许玉格,曹建忠. 基于目的层预约的电梯群控系统建模与控制. *控制与决策*, 2006, 21(10):1159-1162.
- 8 王遵彤,纪德法,乔非,吴启迪. 基于 MAS 技术的电梯群控系统建模及 agent 协商机制与梯群调度算法. *控制与决策*, 2007, 22(10):1184-1188.
- 9 王遵彤,孙栋,乔非,吴启迪. 分布式电梯群控系统多目标调度算法. *控制与决策*, 2010, 27(5):602-608.