

分布式电梯群控系统多目标调度算法

王遵彤, 孙 栋, 乔 非, 吴启迪

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 基于多代理系统(MAS)的分布式电梯群控系统, 将电梯及群控器映射为具有不同功能的代理(agent), 呼梯信号的分派通过各agent协商解决, 使梯群调度算法的计算工作量分散到各agent. 基于拟市场模型, 分布式群控算法主要包括轿厢代理(C-agent)报价算法及呼梯信号代理(HC-agent)电梯分派算法等. 设计实现了旨在同时降低平均候梯时间、平均乘梯时间及长候梯率的多目标分布式群控算法DMO. 仿真结果表明, 基于MAS的分布式电梯群控系统是可行的, 所设计的分布式群控算法能够使平均候梯时间、平均乘梯时间及长候梯率同时得到优化.

关键词: 电梯群控; 多代理系统(MAS); 分布式调度; 多目标优化

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Multi-objective scheduling algorithm for distributed elevator group control system

WANG Zun-tong, SUN Dong, QIAO Fei, WU Qi-di

(College of Electronics & Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The distributed elevator group control system is based on the multi-agent system(MAS). The elevators and the group-controller are mapped respectively to different agents with specific functions; the hall calls are dispatched to elevators through negotiations among agents, thus the computation of scheduling algorithm is decentralized to different agents. Based on the market-like model, the distributed group-control algorithm includes mainly the quotation-generation algorithm of C-agents and the elevator dispatching algorithm of HC-agent. A distributed multi-objective group-control algorithm(DMO) is designed to optimize the average waiting time(AWT), the average riding time(ART), and the long waiting percentage(LPT). Simulation results show that the proposed MAS-based distributed elevator group control system is feasible, and the DMO algorithm has high performance in optimizing AWT, ART, and LPT.

Key words: elevator group-control; multi-agent system; distributed scheduling; multi-objective optimization

1 引言(Introduction)

电梯群控(elevator group control)是一类具有高复杂度、实时性要求的多目标动态调度问题^[1]. 目前的电梯群控系统基本都采用集中式调度机制, 即由群控器负责为呼梯信号分派轿厢为其提供服务. 随着电梯交通系统的日益复杂, 以及各种人工智能方法的应用, 群控器承担的优化计算工作成了制约电梯群控系统高效运行的瓶颈^[2].

将多代理系统(multi-agent system, MAS)^[3]并行计算的思想引入电梯群控系统中, 把电梯轿厢与群控器分别映射为具有不同目标和功能的agent, 可构成分布式电梯群控系统. 与传统的集中式群控系统相比, 基于MAS的分布式群控系统, 将梯群调度算法的计算工作量分散到各agent, 能够消除集中式群控

系统的计算瓶颈.

2 基于MAS的分布式电梯群控系统 (Distributed elevator group control system based on MAS)

Agent(代理)的概念最早被用于分布式人工智能的研究中, 是指能够完成某类任务且带有一定自主性和自制性的计算实体^[3]. 将多个不同类型、能完成不同任务的agent按一定的协作机制有机地组合在一起, 即形成多代理系统MAS. MAS技术的本质之一是实现了并行分布式计算, 这可以显著提高其解决复杂问题的能力, 及智能水平. 基于MAS的分布式电梯群控系统由轿厢代理(C-agent)、呼梯信号代理(HC-agent)、管理代理(M-agent)组成, 其总体结构如图1所示^[2].

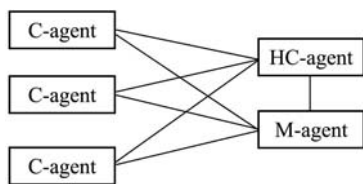


图1 基于MAS技术的电梯群控系统总体结构

Fig. 1 Architecture of elevator group control system based on MAS

图1中, 一个C-agent映射系统中的一台电梯轿厢, 负责处理与其有关的所有控制信号并直接参与群

控过程; HC-agent映射电梯系统中的呼梯信号控制器(即群控器), 负责所有呼梯信号生命周期中的一切行为, 包括发布服务请求、指派服务轿厢等; M-agent映射电梯系统中的虚拟管理器, 负责记录系统的状态信息及分析系统的性能指标, 但不直接参与群控过程。

基于MAS的分布式电梯群控系统通过agent之间的协商、决策, 实现呼梯信号到轿厢的合理分派, 图2给出了基于拟市场模型的C-agent与HC-agent间的协商过程及M-agent对协商过程的间接影响^[2]。

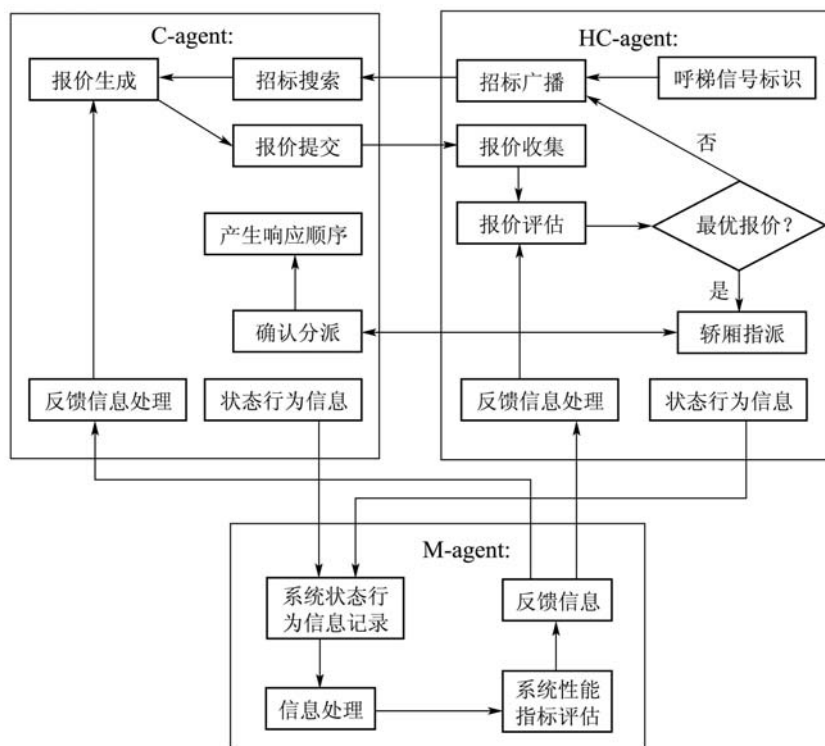


图2 基于拟市场模型的代理间协商过程示意图

Fig. 2 Paradigm of agents' negotiation based on market-like model

拟市场模型描述的是各agent之间基于对策论的协商机制, 即在一个开放的市场环境中, 买主(进入市场的任务)与卖主(提供服务的资源)进行“讨价还价”并最终成交的方式与过程^[3]。图2中, HC-agent作为呼梯信号的代理, 是市场中的“买主”, C-agent作为一台电梯的代理, 为呼梯信号提供服务, 是市场中“卖主”。HC-agent希望市场中的卖主提供服务, 所以发出招标请求; C-agent希望通过出卖自己的服务而获益, 所以生成对呼梯信号的报价。当HC-agent接收到所有C-agent返回的报价后, 选取报价最优的轿厢响应此呼梯信号并与之签订分派合同, 针对一个呼梯信号的协商过程结束。考虑到电梯群控系统具有较高的实时性要求,

agent之间的协商采用开环方式, 即HC-agent一次性选择具有最优报价的C-agent并与之签订分派合同; 仅在所有C-agent均返回拒绝性报价时, HC-agent才重新发布招标广播, 进行再一次的协商决策过程。另外, 图2中的管理代理M-agent负责保存市场交易过程中的有用信息, 并进行相应处理, 形成对交易双方有用的反馈信息, 供双方在协商过程中使用。

3 分布式多目标群控算法(Distributed multi-objective group control algorithm)

3.1 优化目标及评价函数(Objectives and evaluation function)

电梯群控系统的性能指标较多, 文献[4]对其作

了详细论述并提出了一个能同时优化平均候梯时间AWT、平均乘梯时间ART、长候梯率LPC的多目标群控算法。在此,选择相同的性能指标进行优化,并对该算法进行改进,形成分布式多目标群控算法以验证分布式电梯群控系统的有效性。

假定群控系统由 K 部电梯组成,楼层数为 N ;用 $F_{hc}(i)$ 表示呼梯信号 $hc(i)$ ($i = 1, 2, \dots$)所在的楼层, $D_{hc}(i)$ 表示其乘梯方向;用 $F_e(k)$ 表示电梯 k ($k = 1, 2, \dots, K$)当前所在的楼层, $D_e(k)$ 表示其运行方向。设电梯行驶一层的距离(H)所需平均时间为 T_r , 停靠一层耗时为 T_s 。 T_s 由开门时间 T_o 、关门时间 T_c 、乘客进出轿厢时间 T_{in} , T_{out} 组成:

$$T_s = T_o + T_c + T_{in} + T_{out}. \quad (1)$$

式(1)中, T_{in} 及 T_{out} 分别为进出轿厢的人数与一人进出轿厢花费的时间 t_{in} 及 t_{out} 的乘积。

乘客进入电梯轿厢后根据目的楼层按下相应按钮即产生轿厢指令。电梯 k 的轿厢指令集可表示为

$$CC_k(F_e(k), D_e(k), f_1, \dots, f_{F_e(k)-1}, 0, f_{F_e(k)+1}, \dots, f_N). \quad (2)$$

其中 f_j (j 为楼层编号, $j = 1, 2, \dots, N$)表示轿厢指令: 当第 j 层对应的按钮被按下时, $f_j = 1$, 否则, $f_j = 0$ 。显然, 若电梯自 $F_e(k)$ 层上行, 则: $f_1 = f_2 = \dots = f_{F_e(k)} = 0$; 而电梯自 $F_e(k)$ 层下行, 则: $f_{F_e(k)} = f_{F_e(k)+1} = \dots = f_N = 0$ 。

当呼梯信号 $hc(i)$ 出现时, 电梯 k 响应该呼梯信号的预期等候时间记为 $WT_k(i)$ 。若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 且按电梯运行方向 $F_{hc}(i)$ 在 $F_e(k)$ 的前方, 则 $WT_k(i)$ 可计算如下:

$$WT_k(i) = |F_{hc}(i) - F_e(k)| \times T_r + N(k) \times T_s. \quad (3)$$

式(3)中, $WT_k(i)$ 由2项组成: 第1项是电梯 k 从当前楼层行驶到呼梯信号 $hc(i)$ 所在楼层所耗用的预期行驶时间; 第2项是其间的停层所耗用的预期停靠时间, 其中 $N(k)$ 是电梯 k 响应呼梯信号 $hc(i)$ 之前的停靠次数, 可由电梯 k 的轿厢指令集确定。

若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 但 $F_{hc}(i)$ 在 $F_e(k)$ 的后方, 或 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相反, 则 $WT_k(i)$ 可计算如下:

$$WT_k(i) = (|F_{max}(k) - F_e(k)| + |F_{max}(k) - F_{hc}(i)|) \times T_r + N(k) \times T_s. \quad (4)$$

式(4)中 $F_{max}(k)$ 是电梯 k 已注册的轿厢指令集中对应的最远楼层。

假定呼梯信号 $hc(i)$ 被分派由电梯 k 响应, 则电梯 k 中已有乘客的乘梯时间会因电梯停靠而增加, 造成额外的乘梯时间, 用 $FRT_k(i)$ 表示。若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 按电梯运行方向 $F_{hc}(i)$ 在 $F_e(k)$ 的前方, 且

$$|F_{hc}(i) - F_e(k)| \geq |F_{max}(k) - F_e(k)|. \quad (5)$$

则 $FRT_k(i)$ 按下式计算:

$$FRT_k(i) = 0. \quad (6)$$

即响应呼梯信号 $hc(i)$ 不会给已有乘客造成额外乘梯时间的增加。

若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 且

$$|F_{hc}(i) - F_e(k)| \leq |F_{max}(k) - F_e(k)|. \quad (7)$$

但电梯 k 的轿厢指令集中 $f_{hc(i)} = 1$, 则响应呼梯信号 $hc(i)$ 不会产生额外的停层, 从而也不会对已有乘客造成额外乘梯时间的增加, 所以 $FRT_k(i)$ 可按式(6)计算; 否则 $FRT_k(i)$ 按下式计算:

$$FRT_k(i) = T_s. \quad (8)$$

若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相反, 则电梯 k 响应此呼梯信号 $hc(i)$ 时, 其中的乘客已全部离梯, 所以

$$FRT_k(i) = 0.$$

设电梯 k 额定载重量为 $W_{max}(k)$, 当前载重量为 $W_e(k)$, 则电梯 k 的当前负载系数 $LD(k)$ 定义为

$$LD(k) = \frac{W_e(k)}{W_{max}(k)}. \quad (9)$$

若以同时降低AWT, ART与LPC为优化目标, 可基于模糊理论构造电梯 k 对应于呼梯信号 $hc(i)$ 的综合评价函数 Y_{ki} 如下:

$$Y_{ki} = w_1 \mu_{WT}(k) + w_2 \mu_{FRT}(k) + w_3 \mu_{LD}(k). \quad (10)$$

其中, $\mu_{WT}(k)$, $\mu_{FRT}(k)$ 与 $\mu_{LD}(k)$ 是分别对应于 $WT_k(i)$, $FRT_k(i)$ 与 $LD(k)$ 的隶属函数, 分别计算如下^[5]:

$$\mu_{WT}(k) = \begin{cases} 1, & 0 \leq WT \leq 20s, \\ (60 - WT)/40, & 20 \leq WT \leq 60s, \\ 0, & WT \geq 60s, \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{FRT}(k) = \begin{cases} 0, & FRT_k(i) = T_s, \\ 1, & FRT_k(i) = 0, \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{LD}(k) = \cos\left(\frac{\pi}{2} LD(k)\right). \quad (13)$$

而 w_1, w_2 与 w_3 分别是 $\mu_{WT}(k), \mu_{FRT}(k)$ 与 $\mu_{LD}(k)$ 的权重, 且 $w_1 + w_2 + w_3 = 1$. 经多次仿真验证, 对运行于上行高峰时段的电梯群控系统, 权重较为合理的取值是

$$w_1 = 0.5, w_2 = 0.4, w_3 = 0.1. \quad (14)$$

由以上分析可以看出, 综合评价函数 Y_{ki} 的值反映了电梯 k 响应呼梯信号 $hc(i)$ 的综合优化指标, 预期等候时间短、乘客额外乘梯时间短且轻载的电梯, 其 Y_{ki} 的值越大. 呼梯信号总是被分派至 Y_{ki} 值高的电梯响应.

将上述多目标优化的思想应用到集中式群控系统中, 即形成集中式多目标(centralized multi-objective, CMO)优化群控算法.

3.2 分布式多目标优化群控算法(Distributed multi-objective group control algorithm)

将3.1节提出的多目标优化算法用于基于MAS的分布式群控系统的agent协商过程中, 即形成相应的分布式多目标(distributed multi-objective, DMO)优化群控算法. DMO算法主要包括C-agent报价生成算法及HC-agent电梯分派算法等.

3.2.1 C-agent报价分类(Categories of C-agent's quotations)

C-agent报价是根据电梯当前运行方向、所在楼层、负载状况、已登记轿厢指令, 及呼梯信号的方向、楼层等, 形成对呼梯信号是否响应以及预计响应时间等报价信息. 这里用综合评价函数 Y_{ki} 表示C-agent的报价, 可分为绝对报价、拒绝报价和相对报价3类:

1) 绝对报价: 表示轿厢即使未获得分派也停靠呼梯信号所在楼层, 一般发生在下列情况下:

a) 轿厢指令集中含有呼梯信号所在楼层, 且轿厢当前运行方向与呼梯信号的运行方向相同;

b) 呼梯信号所在楼层为一楼或顶楼(针对轿厢必须停靠一楼或顶楼的特殊规定), 且呼梯信号的运行方向与轿厢当前运行方向相反.

2) 拒绝报价: 表明轿厢不能为当前的呼梯信号提供服务, 一般发生在下列情况下:

a) 轿厢运行方向与呼梯信号要求方向相同, 但呼梯信号所在楼层处于轿厢运行方向的后方;

b) 轿厢满载, 且轿厢指令集中, 呼梯信号所在楼层前无停靠指令;

c) 群控系统根据交通模式不允许轿厢响应该

呼梯信号.

3) 相对报价: 表示轿厢能够响应该呼梯信号, 但需经HC-agent分派, 一般发生在下列情况下:

a) 轿厢运行方向与呼梯信号运行方向相同、呼梯信号所在楼层处于轿厢运行前方, 但该楼层无轿厢停靠指令;

b) 轿厢运行方向与呼梯信号运行方向相反, 但轿厢即将改变运行方向, 且呼梯信号所在楼层与轿厢最后停靠楼层较为接近时;

c) 不产生绝对报价及拒绝性报价的其他情况.

3.2.2 C-agent的报价算法(Quotation algorithm of C-agent)

根据以上对C-agent报价的分类及定义, 可设计C-agent对呼梯信号 $hc(i)$ 生成报价的算法, 描述如下:

1) 接收呼梯信号 $hc(i)$ 报价请求;

2) 判断呼梯信号 $hc(i)$ 的行进方向 $D_{hc}(i)$ 是否与电梯运行方向 $D_e(k)$ 相同;

3) 若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 但按电梯运行方向, $F_{hc}(i)$ 在 $F_e(k)$ 的后方, 则生成拒绝报价: $Y_{ki} = 0$. 转10);

4) 轿厢满载, 且轿厢指令集中, 呼梯信号所在楼层前无停靠指令, 生成拒绝报价: $Y_{ki} = 0$. 转10);

5) 若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 但按电梯运行方向, $F_{hc}(i)$ 在 $F_e(k)$ 的前方: $|F_{hc}(i) - F_e(k)| \leq |F_{\max}(k) - F_e(k)|$, 且 $f_{hc}(i) = 1$, 则按式(3)(6)分别计算 $WT_k(i)$ 与 $FRT_k(i)$, 转9)计算绝对报价;

6) 若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 且按电梯运行方向, $F_{hc}(i)$ 在 $F_e(k)$ 的前方: $|F_{hc}(i) - F_e(k)| \leq |F_{\max}(k) - F_e(k)|$, 但 $f_{hc}(i) = 0$, 则按式(3)(8)分别计算 $WT_k(i)$ 与 $FRT_k(i)$. 转9)计算相对报价;

7) 若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相同, 且按电梯运行方向, $F_{hc}(i)$ 在 $F_e(k)$ 的前方: $|F_{hc}(i) - F_e(k)| \geq |F_{\max}(k) - F_e(k)|$, 则按式(3)(6)分别计算 $WT_k(i)$ 与 $FRT_k(i)$, 转9)计算相对报价;

8) 若 $D_{hc}(i)$ 与 $D_e(k)$ 相反, 则按式(3)(6)分别计算 $WT_k(i)$ 与 $FRT_k(i)$, 转9)计算相对报价;

9) 按式(9)计算 $LD(k)$; 按式(10)~(14)计算报价 Y_{ki} ;

10) 发送报价 Y_{ki} .

11) 算法结束.

3.2.3 HC-agent电梯分派算法(Elevator dispatching algorithm of HC-agent)

当收集到所有C-agent返回的报价后, HC-agent先要对报价分类和评价, 剔除拒绝性报价, 从绝对报价和相对报价中选择具有最优报价的电梯响应呼梯信号, 并签订分派合同. 合同签订后, 指派的电梯也必须响应该呼梯信号, 而系统一般也不会因状况发生变化而改派其他电梯响应该呼梯信号. HC-agent发布服务请求广播及对所有C-agent报价的评价算法如下:

- 1) 收集所有C-agent返回的报价, 剔除拒绝性报价. 若全部报价皆为拒绝性报价, 则视为服务请求未获响应, 调用广播算法重新广播, 转5);
- 2) 若有绝对报价, 选择绝对报价最优的电梯响应呼梯信号 $hc(i)$, 转4);
- 3) 选择相对报价最优的电梯响应呼梯信号 $hc(i)$;
- 4) 与获得指派的电梯签订分派合同;
- 5) 算法结束.

3.3 DMO算法的全局优化作用(Global optimization effects of DMO)

相对于传统的调度方法, 基于MAS的分布式群控调度方法的优化过程是并行的. 当呼梯信号出现时, 各C-agent均可参与竞价, 直接与HC-agent达成分派协议. 但因agent具有自主性, 这可能引起局部优化现象, 从而影响群控系统的整体性能. 本文中, C-agent通过对呼梯信号产生拒绝性报价、绝对报价或相对报价而表现出全局优化作用:

- 1) 拒绝报价可避免为该轿厢分配呼梯信号, 缩小了优化派梯的搜索范围, 在一定程度上加快了群控算法的优化速度.
- 2) 绝对报价为HC-agent返回一类必定响应呼梯信号的信息, 应比相对报价具有更高的优先级. HC-agent分派呼梯信号时, 可在不超出性能指标的前提下, 尽可能多地指派返回绝对报价的轿厢, 这在一定程度上减少了轿厢的停靠次数, 起到节能及优化其他性能指标的作用.
- 3) 相对报价是C-agent根据自身及系统状态信息对呼梯信号做出的预期性报价, 由于考虑了电梯系统的全局信息, 因而具有一定的全局优化作用.

4 仿真结果分析(Analysis of simulation results)

为验证所提出的分布式多目标优化群控算法DMO的可行性及有效性, 本文设计相应的电梯群控系统及客流模型在PC机上进行仿真试验, 并同时集中式多目标优化群控算法CMO进行仿真, 比较分析两种算法的优化性能.

4.1 电梯群控系统模型(Elevator group control system model)

设电梯群控系统由8台相同的电梯组成, 额定速度为2.0 m/s, 额定加速度为1.5 m/s², 加速度导数为3 m/s³; 开门及关门时间分别为1 s及1.5 s, 上下客时间均为1 s/人; 轿厢最大载客量为14人或1000 kg; 大楼共有16层, 电梯可在每层停靠, 层高为3 m, 常驻人口2200人, 各楼层的常驻人口分布如表1所示. 经验算, 该交通模型在上行高峰时段的电梯系统相对运载能力为2.14, 符合相对运载能力在1~2.5之间的要求^[5,6].

表1 常驻人口-楼层分布

Table 1 Distribution of resident population-floors

楼层	1	2	3	4	5	6	7	8
人数	125	148	154	111	133	105	102	157
楼层	9	10	11	12	13	14	15	16
人数	87	138	218	169	112	187	132	122

对常见的写字楼来讲, 电梯系统承担运送乘客任务的压力一般出现在早晨上班前一个小时的时段内, 尤其开始上班前的大约30分钟时间内, 乘客数量出现峰值, 给电梯交通系统造成短期存在的严重压力. 因此, 很多文献用上行高峰时段的交通量来考查验证电梯群控系统的性能. 一般认为, 上行高峰时段的客流到达率呈泊松分布. 图3给出了上行高峰时段呈泊松分布(平均值 λ 不同)时的客流到达曲线, 统计时间为1小时, 每5分钟为一个统计时段, 其中上行客流量为90%, 下行客流为5%, 层间客流为5%. 由图3可以看出, 当平均值 λ 较大时, 乘客较多地出现在后30分钟内, 大约占乘客总量的90%; 而上班前20分钟内, 出现的乘客数量则大约占乘客总量的70%以上, 与实际情况下写字楼出现的上行高峰客流分布情况非常接近.

实际上, 无论是何种交通模式, 当客流密度及客流总量较高时, 主要矛盾表现为对电梯系统的运力要求较高, 而电梯配置是固定不变的, 所以只能通过改进群控算法来提高电梯系统的服务质

量, 即达到较低的平均候梯时间AWT、平均乘梯时间ART和长候梯率LPC。

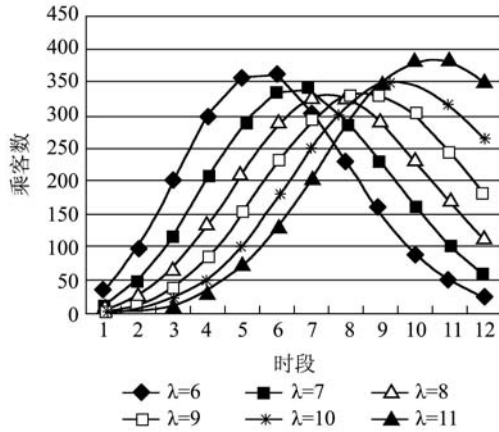


图3 上行高峰时的泊松客流分布

Fig. 3 Poisson distribution of traffic flow at up-period

4.2 仿真结果及分析(Simulation results and analysis)

使用4.1节描述的电梯群控系统模型及表1、图3给出的客流数据, 应用分布式多目标优化算法DMO与集中式多目标优化算法CMO进行仿真, 以验证两种群控算法的有效性并进行比较。仿真平台使用eM-Plant7.0, 客流采样时间为60分钟, 两种算法仿真的实际执行时间基本相同, 都在61~63分钟之内, 所得仿真结果如图4~6所示。

其中图4所示为两种优化算法的平均候梯时间AWT随客流分布平均值 λ 的变化曲线; 图5所示为平均乘梯时间ART随平均值 λ 的变化曲线; 图6所示为长候梯率LPC随平均值 λ 的变化曲线。由图4~6可以看出。

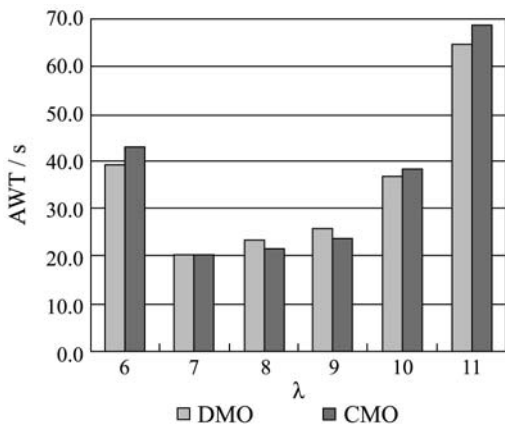


图4 不同平均值 λ 时的平均候梯时间

Fig. 4 Average waiting time with different expected number of occurrence λ

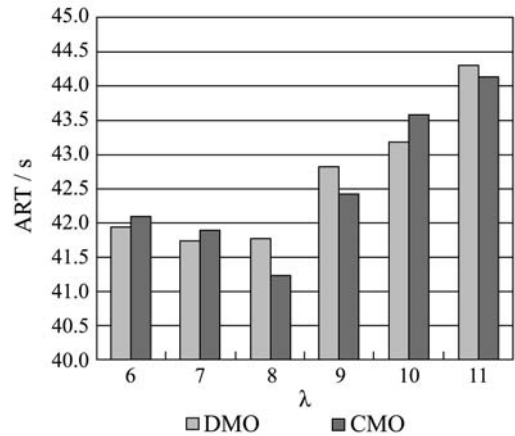


图5 不同平均值 λ 时的平均乘梯时间

Fig. 5 Average riding time with different expected number of occurrence λ

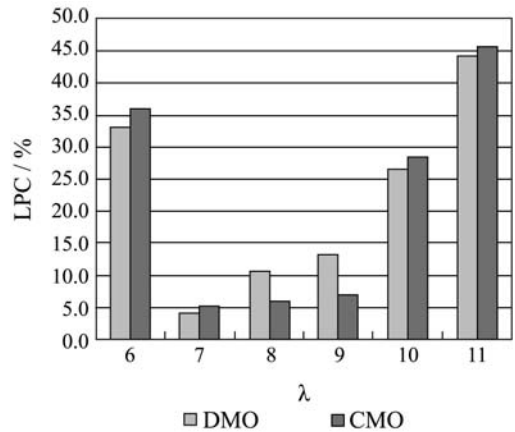


图6 不同平均值 λ 时的长候梯率

Fig. 6 Long waiting percentage with different expected number of occurrence λ

1) 分布式多目标优化算法DMO与集中式多目标优化算法CMO一样具有同时优化多个性能指标的作用, 这说明本文所设计的分布式群控机制及相应的分布式群控算法是可行、有效的;

2) 当客流分布曲线的平均值 λ 较大(即客流分布曲线峰值向后推移, 更多的乘客集中在开始上班前的大约20分钟时间内到达)时, DMO在优化AWT及LPC方面略优于CMO; 但当流分布曲线的平均值 λ 较小时, CMO在优化AWT、ART及LPC方面略优于DMO。实际上, 这种差别并不明显。这是因为两种算法的核心是相同的, 都针对相同的优化目标, 因而优化效果差异不大;

3) 当客流分布曲线的平均值 λ 较小或较大时, 客流峰值较大, 即大量乘客在短时间内蜂拥至一楼候梯大厅, 造成电梯系统短期负荷严重超标, 从而不能及时响应所有呼梯信号, 所以两种

算法的长候梯率LPC都比较高,但DMO算法略优于CMO算法.

5 结论(Conclusions)

基于MAS的分布式电梯群控系统,将电梯及群控器映射为不同的agent,可以使群控调度算法的计算工作量分散到各agent. 分布式多目标优化群控算法DMO主要包括C-agent报价算法及HC-agent电梯分派算法,前者做出响应呼梯信号的报价,后者选择报价最优的电梯响应呼梯信号. 仿真结果表明,基于MAS的分布式电梯群控系统是可行的,分布式多目标优化群控算法DMO能够使平均候梯时间AWT、平均乘梯时间ART及长候梯率LPC同时得到优化. 另外,DMO算法的机制是分布式的,但由于所采用的仿真环境从硬件上讲是集中式的,所有计算工作量均由同一个CPU承担,所以不能通过此次仿真验证来体现分布式算法在分布式计算方面的优越性. 下一步将从硬件结构上建立分布式电梯群控系统仿真平台,以验证所提分布式群控算法在消除计算瓶颈方面的优越性,并进一步设计和验证具有不同优化目标的其他分布式群控算法.

参考文献(References):

- [1] 毕晓亮, 李伟, 朱昌明, 等. 电梯群控系统多目标控制策略[J]. 上海交通大学学报, 2004, 38(8): 1366 – 1368.
(BI Xiaoliang, LI Wei, ZHU Changming, et al. Elevator service system based on multi-objective optimization [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2004, 38(8): 1366 – 1368.)
- [2] 王遵彤, 纪德法, 乔非, 等. 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[J]. 控制与决策, 2007, 10(10): 1184 – 1188.
(WANG Zuntong, JI Defa, QIAO Fei, et al. Modeling and scheduling elevator group control system based on MAS and negotiation mechanism of agents [J]. *Control and Decision*, 2007, 10(10): 1184 – 1188.)
- [3] 范玉顺, 曹军威, 编著. 多代理系统理论、方法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
(FAN Yushun, CAO Junwei. *Multi-Agent Systems: Theory, Method and Application*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.)
- [4] 鲍海. 基于模糊神经网络的电梯群控系统交通模式识别和多目标优化群控算法研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.
(BAO Hai. *Research on fuzzy neural network based recognition of traffic patterns of elevator group control system and multi-target dispatching algorithm*[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.)
- [5] 王遵彤, 孙栋, 詹国钟, 等. 电梯群控系统标准客流模型的设计与实现[J]. 机电一体化, 2009, 15(5): 29 – 33.
(WANG Zuntong, SUN Dong, ZHAN Guozhong, et al. Design and development of standard traffic flow model of elevator group control system[J]. *Mechatronics*, 2009, 15(5): 29 – 33, 37.)
- [6] 梁延东. 电梯控制技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
(LIANG Yandong. *Elevator Control Technology*[M]. Beijing: China Architecture Industry Press, 1997.)

作者简介:

王遵彤 (1965—), 男, 副教授, 博士, 研究兴趣主要包括复杂系统调度与控制、人工智能方法及其应用、嵌入式技术应用等, E-mail: wangzt@tongji.edu.cn;

孙 栋 (1984—), 男, 硕士研究生, 研究兴趣主要包括嵌入式系统应用, E-mail: lucky_1984_3_5@hotmail.com;

乔 非 (1967—), 女, 研究员, 博士, 博士生导师, 研究兴趣主要包括复杂系统调度与优化, E-mail: fqiao@tongji.edu.cn;

吴启迪 (1947—), 女, 教授, 博士, 博士生导师, 研究兴趣主要包括智能控制理论与应用、复杂系统调度与优化等, E-mail: wuqidi@moe.edu.cn.