

文章编号: 1001-0920(2007)10-1184-05

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

王遵彤¹, 纪德法², 乔非¹, 吴启迪¹

(1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 200092; 2. 上海新时达电气有限公司, 上海 201802)

摘要: 将多代理系统(MAS)技术引入电梯群控系统, 形成分布式电梯群控系统, 以克服集中式群控系统的计算瓶颈问题. 提出了基于 MAS 技术的网状电梯群控系统总体结构, 将电梯交通系统中的轿厢和呼梯信号控制器分别映射为 C-agent 和 HC-agent, 并增加了一个 M-agent 映射电梯系统中的虚拟管理器. 描述了基于拟市场模型的 C-agent 报价算法和 HC-agent 评价报价算法, 以及分布式电梯群控系统的全局优化机制.

关键词: 电梯群控; 多代理系统; 全局优化

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Modeling and scheduling elevator group control system based on MAS and negotiation mechanism of agents

WANG Zun-tong¹, JI De-fa², QIAO Fei¹, WU Qi-di¹

(1. School of Electronics and Information, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Shanghai STEP Electric Company Ltd, Shanghai 201802, China. Correspondent: WANG Zun-tong; E-mail: wangzt@mail.tongji.edu.cn)

Abstract: Distributed elevator group control system (EGCS) based on multi-agent system can overcome the computing bottleneck existed in collective EGCS. The distributed EGCS is composed of C-agent, HC-agent and M-agent, which corresponds to elevator car, group controller, and a virtual management unit respectively. The architecture of a reticulate distributed EGCS is proposed. The quoting algorithms of C-agent based on market-like model and the evaluation algorithm of HC-agent are described in detail, and the overall optimization mechanism of distributed EGCS is discussed.

Key words: Elevator group control; Multi-agent system (MAS); Global optimization

1 引言

电梯群控是指使用电梯群控器协调控制 3 台及以上电梯的运行, 为呼梯信号指派轿厢提供服务, 以提高电梯交通系统的服务质量和运送乘客的能力, 并达到节能的目的. 通常要求电梯群控系统具有较短的平均候梯时间和平均乘梯时间. 近年来, 各种计算智能和人工智能方法在电梯群控中得到了广泛研究和应用. 例如: Sogawa^[1] 将模糊理论与专家系统相结合, 提出一种电梯群控模糊专家系统; 宗群等^[2,3] 将遗传算法与模糊神经网络相结合, 用于电梯智能群控算法的研究; 毕晓亮等^[4] 建立了基于遗传算法的多目标优化模型; Cortés 等^[5] 提出了基于

遗传算法的电梯群控算法, 在降低候梯时间方面取得了比传统算法优越的结果.

各大电梯公司也推出了具有智能特点的电梯群控产品. 例如: 日立公司的 CIP52000 系列, 三菱公司的 AF2100 系列, 都使用了专家系统来控制呼梯信号的分派; 富士通公司的 FLEX-8800 系列, KONE 公司的 TMS9000 系列和三菱公司的 AF2100 系列, 则使用了基于模糊理论的方法; 日立公司的 FH340G 系列首先使用了遗传算法^[6,7].

电梯群控是一类具有较高复杂度和实时性要求的多目标动态调度问题, 但现有的电梯群控方法基本属于集中式算法, 由群控器负责为呼梯信号分派

收稿日期: 2006-06-16; 修回日期: 2006-10-08.

基金项目: 国家 973 基金项目(2002CB312202-3); 国家发改委基金项目(CN GF04-15-5A-2); 上海市博士后创新实践基金项目(0800237022).

作者简介: 王遵彤(1965—), 男, 山东惠民人, 副教授, 博士, 从事系统调度与控制、人工智能等研究; 乔非(1967—), 女, 安徽马鞍山人, 研究员, 博士, 从事智能控制、系统工程等研究.

具有最优响应的轿厢提供服务.随着电梯交通系统复杂度的提高,群控器承担的优化求解工作成为制约电梯群控系统高效运行的瓶颈.

agent(代理)的概念最早被用于分布式人工智能的研究,表示能完成某类任务且带有一定自主性和自制性的计算实体^[8].agent 的思想已逐渐为人们所接受,被用于不同的分布式问题求解.将多个不同类型、能完成不同任务功能的 agent 按一定的协作机制组成一个整体,即多代理系统(MAS),可显著提高其解决复杂问题的能力和智能水平.目前,MAS 技术在许多工程应用中得到了推广,如用来求解复杂的离散事件动态系统调度问题等.将 MAS 引入电梯群控系统,把轿厢、呼梯信号和群控器等映射为具有不同目标的 agent,可构成分布式智能群控系统.通过轿厢 agent 与呼梯信号 agent 直接进行协商,实现分布式调度的功能,使呼梯信号分派算法的计算量分散到各 agent,消除集中式群控系统的计算瓶颈,是很有前途的一种智能群控技术.

2 电梯群控问题描述

一般在安装群控电梯的大楼内,每个楼层都设有上行和下行呼梯按钮.乘客到达某楼层后按下相应的呼梯按钮,即产生呼梯信号;乘客进入轿厢后按下各自的目的楼层编号,即产生相应的轿厢指令(停层指令).呼梯信号用 $hc(F_{hc}, D_{hc}, t_{hc})$ 表示,其中 F_{hc} 为呼梯信号所在的楼层编号, D_{hc} 为呼梯信号要求的乘梯方向, t_{hc} 为呼梯信号的产生时间.用 $p(F_{ini}, t_p, F_d)$ 表示对一个乘客的描述,其中 F_{ini} 为该乘客到达的初始楼层, t_p 为到达时间, F_d 为目的楼层.用 $cc(F_c, D_c, f_1, f_2, \dots, f_n)$ 表示一台电梯的轿厢指令集,其中 F_c 为当前楼层(轿厢最近一次停层时对应的楼层), D_c 为轿厢当前运行方向(轿厢最近一次停层后的运行方向), f_i 为第 i 层停层指令 ($i = 1, 2, \dots, n$),有

$$f_i = \begin{cases} 1, & \text{第 } i \text{ 层的按钮被按下;} \\ 0, & \text{第 } i \text{ 层的按钮未按下.} \end{cases}$$

电梯自 F_c 层上行时, $f_1 = f_2 = \dots = f_c = 0$; 电梯自 F_c 层下行时, $f_c = f_{c+1} = \dots = f_n = 0$.

基于上述描述,电梯群控问题定义如下:

设在一个由 m 台电梯组成的交通系统中,电梯可停层站总数为 n ,乘客随机到达不同的楼层,并发出呼梯请求.电梯群控问题指的是:在满足对轿厢、层站和服务请求等复杂约束条件下,综合考虑系统中已有的轿厢指令集 cc 和呼梯信号 hc 的情况,为呼梯信号 hc 指派轿厢提供服务,或为轿厢分派要响应的呼梯信号 hc ,以使电梯交通系统的某个或某些性能指标达到最大程度的优化.

电梯群控系统常用的优化指标主要有:平均候梯时间 AWT,长候梯率 LWP,运行次数 RNC,平均响应时间 ACT,平均乘梯时间 ART,乘客运送能力 CPT 等^[2].一般情况下,电梯群控系统不能使上述性能指标同时最优化,只能对这些指标进行折衷,使某些重要程度高的指标得到较好的优化,而牺牲另外一些重要程度低的性能指标.电梯群控问题的主要特点是:

1) 轿厢服务是可组合的:在满足轿厢最大载重量的约束条件下,不同的服务请求可同时占用一个轿厢,形成一个服务组合.

2) 轿厢服务是可中断的:电梯在结束现有服务之前,可响应新的服务请求,且因服务可能被中断的次数不确定,造成服务时间的不确定.

3) 服务组合是可拆分的:乘客到达目的楼层后,离开轿厢从而结束服务,使服务组合发生变化.

正是由于这些特点,使得电梯群控问题的优化求解非常困难.呼梯信号随着时间的推进而逐步产生,因此群控算法只能依据部分输入信号进行优化,一般不能得到整体最优解.

3 基于 MAS 的电梯群控系统模型

根据 agent 映射对象的不同,可将基于 MAS 技术的调度系统分为实体型和过程型两类:实体型 MAS 调度系统中的 agent,映射实际系统中的实体对象;过程型 MAS 调度系统中的 agent,映射实际系统中某种具体功能^[8].前者在实体数量较少且每个实体的功能目标相对单一、独立的调度问题求解中应用较广;后者在实体的功能较多而功能之间相对独立的调度问题求解中应用较广.

电梯群控系统是由轿厢、群控器、呼梯信号控制器等各种具有相对独立功能的实体组成的,因而适于采用基于实体型 agent 的群控调度系统.电梯群控系统中的 agent 可分为 3 类:轿厢 agent (C-agent),呼梯信号 agent (HC-agent),管理 agent (M-agent).一个 C-agent 映射系统中的一台电梯,负责处理与本轿厢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,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,分析系统的性能指标,但不直接参与群控过程.

根据以上对 agent 映射关系的分析,从发挥 MAS 技术优势和全局优化的角度出发,允许任意两个 agent 之间进行通信,以保证所有 agent 充分利用系统内的信息.因此采用网状结构构建基于 MAS 的电梯群控系统,其总体结构如图 1 所示.

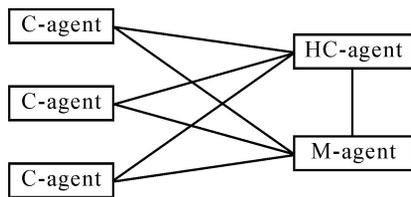


图 1 基于 MAS 技术的电梯群控系统总体结构

4 agent 协商机制与梯群调度算法

基于 MAS 技术的电梯群控系统采用分布式的优化机制,通过 agent 之间的协商和决策,实现呼梯信号到轿厢的合理分派。agent 间的协商是指 HC-agent 为呼梯信号发出招标请求,C-agent 生成对呼梯信号的报价,HC-agent 对所有 C-agent 报价进行择优。agent 具有自主性,总是试图作出对自身有利的决策,这可能导致系统性能的局部优化。因此需要利用 M-agent 对系统的状态和性能指标进行评估,形成针对各 agent 行为的奖惩系数,并将其反馈给各 agent,以间接影响其决策过程,达到全局优化的目的。电梯群调度算法体现在 agent 间的上述协商和决策过程中,包括 C-agent 对呼梯信号制订报价,HC-agent 对 C-agent 反馈的报价进行评估择优等。

4.1 基于拟市场模型的 C-agent 协商机制

agent 之间通过协商达成解决问题的协议是 agent 自主性的体现,也是 MAS 具有分布式计算能力的体现。本文采用基于拟市场模型的 agent 协商机制,以一个 C-agent 与 HC-agent 间的协商为例,其协商过程和 M-agent 对协商过程的间接影响如图 2 所示。

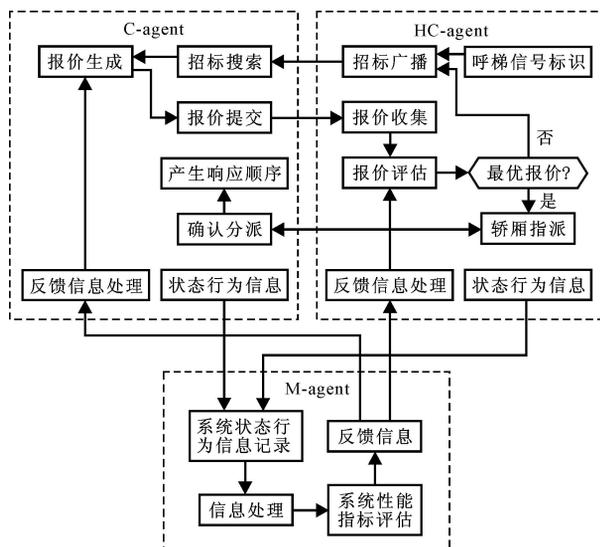


图 2 基于拟市场模型的代理间协商过程

当有呼梯信号产生时,HC-agent 首先为该呼梯信号分配一个 ID 标识,记录其产生时刻、初始楼层、方向等原始信息,并向所有 C-agent 发出招标信息,

请求 C-agent 返回响应报价。C-agent 收到服务请求后,根据自身的运行方向、已有的轿厢指令、载重情况等状态信息,估算出响应此服务请求的最短时间,并作为报价发送至 HC-agent。HC-agent 收到所有 C-agent 返回的报价信息后,选取报价最低(即响应时间最短)的轿厢响应此呼梯信号,并为之签订分派合同。C-agent 签订分派合同后,将分派到的呼梯信号插入轿厢指令集,与原有的轿厢指令一起,按楼层的先后顺序得到响应信号。在上述过程中,M-agent 虽然不直接参与呼梯信号的分派,但通过分析系统的整体性能指标,形成对另两类 agent 的奖惩系数,并反馈给各 agent,以影响其协商和决策,达到间接影响群控过程的目的。

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 一次性选择最优 C-agent,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,再一次进行协商决策过程。这就要求 C-agent 在制订报价时,必须严格按照统一的算法进行计算,不能为自身当前利益的最大化作出虚假报价。

4.2 C-agent 的报价算法

报价是 C-agent 根据轿厢当前的载重情况、行进方向、轿厢指令、M-agent 返回的奖惩系数等,作出对服务请求的回应,内容主要包括能否接受服务请求以及对所能提供服务的描述(如预计响应时间)等。根据性质的不同,报价可分为 3 类:拒绝性报价、绝对报价、相对报价。

(1) 拒绝性报价:表明轿厢不能为当前的呼梯信号提供服务。拒绝性报价一般发生在下列情况下:

- 1) 轿厢运行方向与呼梯信号要求方向相反;
- 2) 轿厢满载且轿厢指令集中无呼梯信号所在楼层的停靠指令;
- 3) 群控系统根据交通模式不允许轿厢响应该呼梯信号。

(2) 绝对报价:表示轿厢即使未获得分派也一定停靠呼梯信号所在楼层。绝对报价一般发生在下列情况下:

- 1) 轿厢指令集中含有呼梯信号所在楼层的停靠指令;
- 2) 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情况)。

(3) 相对报价:表示轿厢能响应该呼梯信号,但是否响应需视 HC-agent 的决策而定。绝对报价一般发生在下列情况下:

- 1) 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,且该楼层无轿

厢停靠指令;

2) 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.

C-agent 针对呼梯信号计算报价的算法如下:

算法 1 1) 判断服务请求的行进方向 D_{hc} 是否与轿厢行进方向 D_c 相同,若不相同,则转 7);

2) 判断呼梯信号所在楼层 F_{hc} 是否在轿厢当前楼层 F_c 之后,即 $F_{hc} > F_c$ (若 $F_{hc} > F_c$,则转 8);

3) 判断呼梯信号所在楼层 F_{hc} 是否包含在轿厢指令集将要停靠的楼层,若是,则转 6);

4) 判断轿厢当前是否满载,若是,则转 8);

5) 根据轿厢当前的载重情况,呼梯信号所在楼层之前要响应的轿厢指令, M-agent 返回的奖惩系数等,计算响应该呼梯信号的预计时间,形成相对报价,并转 9);

6) 根据轿厢当前的载重情况,呼梯信号所在楼层之前要响应的轿厢指令, M-agent 返回的奖惩系数等,计算响应该呼梯信号的预计时间,形成绝对报价,并转 9);

7) 判断轿厢是否即将转向,即轿厢指令集中待响应的指令即将完成,或轿厢即将行进至顶楼或底楼,若是,则转 5);

8) 生成拒绝性报价;

9) 发送报价,算法结束.

4.3 HC-agent 的报价评价算法

在基于 MAS 技术的分布式电梯群控系统中,当产生呼梯信号时, HC-agent 负责为呼梯信号产生唯一性标识 ID,并向 C-agent 广播招标信息,收集 C-agent 返回的报价.当收集到所有 C-agent 返回的报价后, HC-agent 要对报价进行分类和评价,剔出拒绝性报价,从绝对报价和相对报价中选择具有最低预计响应时间的轿厢,指派其为呼梯信号提供服务,并与其签订服务合同.一般情况下,服务合同签订后,系统将不再改派其他轿厢为该呼梯信号提供服务,轿厢也必须响应该呼梯信号. 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:

算法 2 1) 当搜索到新的呼梯信号后,为其生成 ID 标识,记录其产生时间 t_{hc} ,初始楼层 F_{hc} ,行进方向 D_{hc} 等属性,形成一个服务请求;

2) 向所有 C-agent 广播服务请求;

3) 收集所有 C-agent 返回的报价,剔出拒绝性报价,若全部报价皆为拒绝性报价,则视为服务请求未获响应,转 2) 重新广播;

4) 判断有无绝对报价,若无,则转 7);

5) 选择最优的绝对报价(如具有最短响应时间),判断其响应时间是否超过允许的最大响应时间,若超过,则转 7);

6) 指派具有最优绝对报价的轿厢响应该呼梯信号,并转 10);

7) 选择最优的相对报价,判断其响应时间是否超过允许的最大响应时间,若超过,则转 9);

8) 指派具有最优相对报价的轿厢响应该呼梯信号,并转 10);

9) 指派最优绝对报价和最优相对报价中较小的轿厢响应该呼梯信号;

10) 与获得指派的轿厢签订分配合同,算法结束.

4.4 基于 MAS 的电梯群控系统全局优化机制

相对于传统的调度方法,基于 MAS 的动态调度方法属于分布式调度方法,其优化过程是并行的.当产生呼梯信号时,各 C-agent 均可参与竞价,直接与 HC-agent 达成分派协议.但由于 agent 的自主性,可能导致局部优化现象,从而影响群控系统的整体性能.因此必须引入一套全局优化机制或算法,既能保证每个 agent 的自主性优势得以最大限度的发挥,又能保证系统的性能指标得到整体优化.本文基于 MAS 的电梯群控系统,主要通过 C-agent 制订报价的算法和 M-agent 对系统性能的评价和反馈来实现全局优化.

C-agent 可对呼梯信号产生拒绝性报价、绝对报价或相对报价.根据产生条件,其全局优化作用主要表现在:

1) 拒绝性报价可避免为该轿厢分配呼梯信号,缩小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) 绝对报价为呼梯信号代理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,这在一定程度上将方向和楼层相同的呼梯信号与轿厢指令一起响应,减少了轿厢的停靠次数,起到节能和优化其他性能指标的作用.

3) 相对报价是 C-agent 根据自身和系统状态信息,以及 M-agent 反馈的奖惩信息,对呼梯信号作出的预期性报价.相对报价的制订考虑了电梯交通系统的全局信息,因而具有全局优化作用.

如图 2 所示, M-agent 通过对系统的状态信息和性能指标进行评估,形成对 C-agent 和 HC-agent 行为的奖惩系数,间接参与并影响其协商决策过程,最终使电梯交通系统的性能从整体上得到优化.当

然,针对不同的系统状况,M-agent 的评估和反馈信息也有所不同.

限于篇幅,C-agent 报价算法、HC-agent 报价评价算法以及分布式群控系统全局优化机制的验证和分析,将在后续文章中介绍.

5 结 语

现有的电梯群控智能调度方法基本属于集中式优化算法,由群控器负责对呼梯信号和系统状态进行优化求解,并将优化结果分派给各轿厢的控制器.集中式群控系统的计算代价主要由群控器承担.随着电梯交通系统复杂程度的提高,优化求解将成为电梯群控系统高效运行的瓶颈.将多代理系统(MAS)技术引入电梯群控系统,形成分布式电梯群控系统,能克服集中式群控系统的计算瓶颈问题,是智能电梯群控技术的一个很有前途的研究方向.

参考文献(References)

- [1] Yasuyuki Sogawa. Supervisory control for elevator group by using fuzzy expert system which addresses the riding time [C]. IEEE IECON. Taipei, 1996, 1: 419-424.
- [2] 宗群, 董玲, 牙淑红, 等. 基于遗传算法模糊神经网络的电梯群控调度[J]. 天津大学学报, 2003, 36(5): 585-589.
(Zong Qun, Tong Ling, Ya Shu-hong, et al. Elevator group control dispatching using genetic algorithm based fuzzy neural network[J]. J of Tianjin University, 2003, 36(5): 585-589.)
- [3] 宗群, 董玲, 薛丽华. 电梯群控系统智能优化调度方法的研究[J]. 控制与决策, 2004, 19(8): 939-942.
(Zong Qun, Tong Ling, Xue Li-hua. Research on intelligent optimal dispatching method in elevator group control systems [J]. Control and Decision, 2004, 19(8): 939-942.)
- [4] 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 Xiao-liang, Li Wei, Zhu Chang-ming, et al. Elevator service system based on multi-objective optimization [J]. J of Shanghai Jiaotong University, 2004, 38(8): 1366-1368.)
- [5] Cortés P, Larraneta J, Onieva L. Genetic algorithm for controllers in elevator groups: Analysis and simulation during lunchpeak traffic [J]. Applied Soft Computing, 2004, 4(2): 159-174.
- [6] Marja-liisa Siikonen, Tuomas Susi, Henri Hakonen. Passenger traffic flow simulation in tall buildings [J]. Elevator World, 2001, 49(8): 117-124.
- [7] 朱昌明, 毕晓亮. 电梯智能群控系统研究概况[J]. 现代城市研究, 2003, (增1): 1-6.
(Zhu Chang-ming, Bi Xiao-liang. Survey on elevator group control system [J]. Modern City Research, 2003, (S1): 1-6.)
- [8] 范玉顺, 曹军威. 多代理系统理论、方法与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
(Fan Yu-shun, Cao Jun-wei. Multi-agent systems: Theory, method and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.)
- [5] Freeman R. Integrator backstepping for bounded control and control rates [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1998, 43(2): 258-262.
- [6] Ito H, Freeman R. State-dependent scaling design for a unified approach to robust backstepping [J]. Automatica, 2001, 37(6): 843-855.
- [7] Freeman R, Kristić M, Kokotović P. Robustness of adaptive nonlinear control to bounded uncertainties [J]. Automatica, 1998, 34(10): 1227-1230.
- [8] 黄琳. 稳定性与鲁棒性的理论基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
(Huang Lin. Fundamental theory for stability and robustness [M]. Beijing: Science Press, 2003.)
- [9] Georgiou T, Smith M. Robustness analysis of nonlinear feedback systems: An input-output approach [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1997, 42(9): 1200-1221.
- [10] Xie C, French M. Gap metric robustness of a backstepping control design [C]. Proc of the 42nd IEEE Conf on Decision and Control. Hawaii, 2003, 5: 5180-5184.
- [11] Vinnicombe G. Uncertainty and feedback: H_∞ loop-shaping and γ -gap metric [M]. London: Imperial College Press, 2000.

(上接第 1183 页)