

文章编号: 1001-0920(2005)12-1321-11

电梯群控技术的现状与发展方向

杨祯山, 邵 诚

(大连理工大学 信息与控制研究中心, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 在对电梯群控系统的结构特性、工作原理以及该技术最新发展概况综述的基础上, 对电梯群控系统研究中的控制算法以及控制策略的采用、实施的效果、关键技术和存在的问题等进行了详细分析。结合电梯群控系统的应用现状, 探讨了现阶段电梯群控技术应着重解决的问题和发展方向

关键词: 电梯群控技术; 人工智能; 模糊控制; 神经网络; 遗传算法

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

On the Present Situation and Developing Trends of Elevator Group Supervisory Control Technologies

YANG Zhen-shan, SHAO Cheng

(Research Centre of Information and Control, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

Correspondent: YANG Zhen-shan, E-mail: zsyang3@tom.com)

Abstract: Based on the reviews of the development of elevator group control technologies, the principle of work and the structural behavior of elevator group control system (EGCS) are discussed in detail. A analysis of some problems in the research of EGCS, including the adoption and implementation aftermath of the control algorithms and strategies, key technologies used in this fields and problems to be solved, are conducted considering the current application of EGCS. Some prospective control technologies for EGCS and developing trends of EGCS are suggested also.

Key words: Elevator group supervisory control technologies; Artificial intelligence; Fuzzy control; Neural network; Genetic algorithm

1 引 言

首次使用的乘客电梯出现于 18 世纪 90 年代后期。1889 年, Otis 公司在纽约成功安装了一台直接连接式升降机, 这是以直流电动机为动力的世界上第一台电力驱动升降机, 从此诞生了名副其实的乘客电梯。电梯驱动控制技术的发展经历了直流电机驱动控制, 交流单速电机驱动控制, 交流双速电机驱动控制, 直流有齿轮、无齿轮调速驱动控制, 交流调压调速驱动控制, 交流变压变频调速驱动控制以及交流永磁同步电机变频调速驱动控制等阶段。

随着第一个半自动化电梯控制器在 19 世纪 20 年代的使用, 原始的服务员执守工作方式已减少为一个开关门的操作。直到 1950 年, 由电力机械继电器系统组成的全自动电梯控制器的应用取消了服务员执守。到 20 世纪 70 年代, 基于微处理器的电梯控制器得到广泛应用, 使得更为复杂的调度算法的实施成为可能, 由此产生了电梯群控的概念。

电梯操纵控制方式经历了手柄开关操纵、按钮控制、信号控制、集选控制等过程, 对于多台电梯则出现了并联控制、智能群控等。随着智能控制技术在电梯群控系统中的应用, 电梯交通系统和其他

收稿日期: 2004-12-07; 修回日期: 2005-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(69874026)。

作者简介: 杨祯山(1965—), 男, 辽宁锦州人, 教授级高工, 博士生, 从事复杂系统的建模与控制及先进控制技术在电梯群控中的应用研究; 邵诚(1958—), 男, 江苏靖江人, 教授, 博士生导师, 从事复杂系统的建模与控制、自适应控制等研究。

设施融为一体,智能建筑的整体功能得以充分发挥对高层及超高层建筑电梯交通系统的研究表明^[1]:电梯交通系统设计的关键是满足乘客生理上和心理上的承受力,有效地解决高层建筑复杂的楼内垂直交通,寻求优化的控制策略,优化调度多部电梯以提高电梯的运行效率和服务质量,成为许多学者研究的重要课题

2 电梯群控技术的发展阶段

第1阶段是1949年~1971年,1971年以前,是电梯群控技术的初级阶段,采用的是继电器时序控制和预选分区控制,轿厢指派方式为区间指派方式,这种方式可适当解决高峰期梯群中的各个轿厢沿井道的均布问题,缺点是:轿厢花费太多的时间在端站候梯指派,且轿厢在候梯指派时通常处于闲置状态,同时轿厢频繁地在端站楼层无目的地运行也不利于节能。由Otis研制的继电器群控系统,于1949年安装于纽约联合国大厦

第2阶段是1971年~1975年,硬件采用了集成电路,可以进行较为复杂的逻辑计算,这一时期采用的调度方式是针对每一个具体的呼梯信号指派电梯,当一个层站呼叫注册后,系统根据交通情况和各轿厢的状态,选择合适的电梯为这个层站呼叫提供服务,控制方式是候梯时间控制,这个阶段主要是应用数理统计的方法研究电梯群控系统的统计特性,这是电梯群智能控制的重要基础

第3阶段是1975年~1988年,计算机应用于电梯群控标志着现代电梯群控阶段的开始,着重研究电梯群控系统的动态特性,控制方式是最小候梯时间控制和综合评价函数控制,在第2阶段的呼梯-分配系统中增加了综合评价系统,采用了包括候梯时间、长候梯率及预测误差率在内的多因素作为评价指标,改变了系统对于时变的交通量适应性差的缺点

从1988年至今,是电梯群控技术的快速发展阶段,具有代表性的是三菱公司于1989年开发的A1-2100系统,标志是基于计算机及其网络的人工智能技术的应用,即:专家系统技术、模糊逻辑技术、神经网络技术、模糊神经网络技术、进化算法(如遗传算法、免疫算法)等技术的应用,国内外一些大学及研究机构纷纷加入电梯群控技术的研究领域,我国电梯群控技术文献最早见于1990年^[2]。

3 电梯群控系统问题的提出

电梯群控系统(ECGS)是指将安装在建筑物内的3台或3台以上的一组电梯作为一个有机整体,使用一个自动控制系统调度每一台电梯的运行,目的是提高垂直交通系统的运行效率,以较短的候梯

时间和运行时间为乘客提供服务,以提高对乘客的服务质量,并减少能耗^[3]。

传统的群控算法只有一个目标,即最小候梯时间,在现代高层建筑的一些特定交通模式下,不可能要求每一部电梯服务每一个楼层,因为这样会使每一部轿厢在其运行过程中停站数量大大增加,使电梯的运行周期变长,系统总体性能将随之变差,因此电梯群控技术的研究具有重要的现实意义

电梯服务过程可以描述为^[4]:在随机的时间和楼层,乘客随机地到达电梯前厅,发出上行或下行的层站呼叫,直到乘客进入轿厢按下轿厢呼叫按钮之前,其目的层是不确定的,而调度程序必须以一种基于全局系统优化的方式,通过选择轿厢运动方向,对所有指派给它的当前方向上的层站呼叫提供服务

电梯群的调度问题,实质上是一个在变化环境下的在线调度、资源配置及随机最优控制的组合优化问题,对该问题复杂性的研究表明,电梯群的调度问题属于NP-hard问题^[5]。电梯指派发生时,重要的性能指标是乘客平均候梯时间、系统服务时间和系统响应时间(见图1)。电梯调度的目标是对群控系统时间序列性能指标的优化,但优化上述任何一个指标都非常困难,至少有3个原因:

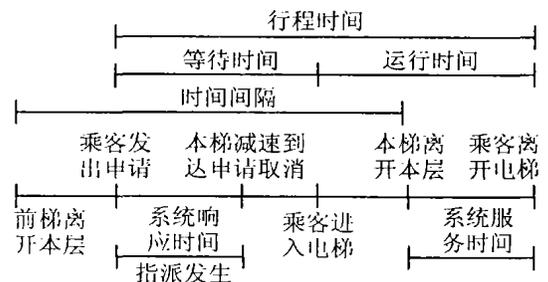


图1 电梯系统提供服务时序

1) 系统的状态空间非常庞大^[6]。如果建筑物层数为 N ($N \geq 2$),服务的电梯数为 M ($M \geq 1$),则系统的最大状态数为 $2^{2(N-1)} [(3N-2) \cdot 2^N]^M$,最大调度方案数为 M^{2N-2} ,易于产生组合爆炸。由于系统是以轿厢的位置、方向、速度、轿厢内乘客数量、每个层站候梯的乘客数量等来描述的,因此,一个优化的调度程序在决定对一个新到达的乘客提供服务时,必须考虑所有这些信息。

2) 系统的动态特性伴随着许多的不确定性。当一个轿厢的运动由其当前的调度程序完全确定的同时,调度程序经常会发生变化,原因是这种到达过程是一个随机过程。乘客到达事件包含4种类型的不确定性:到达时间、候梯人数、到达楼层和乘客的最终到达楼层。

3) 再指派策略的实施问题。如果调度程序允

许撤销先前的指派并且继续重新给轿厢指派任务, 必须在短时间内考虑一个变更的任务指派, 该模式称为再指派策略。其相反的模式是即时指派策略, 即当派遣程序已经做出就不再考虑重新指派的任务指派。

4 电梯群控系统的构成及研究现状

4.1 电梯群控系统的分析

电梯群控系统是典型的动态离散事件系统, 系统的建模、分析、优化都较为复杂。调度策略所面临的问题是基于当前的状态和历史数据, 找到一个派遣程序来决定什么时间、地点, 轿厢应运行、停止或转向。对于办公建筑主要是使乘客平均候梯时间最小, 此问题难于处理的原因包括: 多轿厢的协同问题, 满足轿厢的运动约束、状态信息的不完整和不确定以及时变的交通量。电梯群控系统的随机性、非线性和控制目标多样性, 使传统控制方法很难提高系统的性能指标。因此调度算法和评价指标对于 EGCS 是至关重要的。

电梯群控系统的设计主要应考虑如下问题^[6~8]:

- 1) 电梯动态特性: 额定速度、加速度、运动时间、加载/卸载乘客数量;
- 2) 评价准则: 平均候梯时间、长候梯率、能耗统计值;
- 3) 评价方法: 主要有仿真方法、模糊专家系统方法和神经网络方法;
- 4) 层站呼叫指派方法(HCAM): 当一个新的层站呼叫发生时, HCAM 需完成 3 个步骤: 输入当前交通条件、性能预测及确定服务轿厢;
- 5) 交通量的自适应性: 用已知的当前交通数据预测层站呼叫的发生情况, 估计可能的指派而后作出决策;
- 6) 再指派能力: 根据最新的系统条件重新作出指派, 这也是当今备受关注的一个问题。

电梯群控系统首先要做的工作是对交通模式分类。一般认为, 电梯交通系统的乘客到达可以近似地认为服从 Poisson 分布。在此基础上, 将电梯的交通类型分成如下几个模式:

- 1) 上行高峰交通模式: 所有的乘客均由建筑物底层(基站)大厅进入轿厢, 当电梯把乘客送至各自的目的层后, 直接返回基站, 重复执行运送基站乘客的工作;
- 2) 午餐交通模式: 所有乘客到底层用餐之后返回各自的楼层;
- 3) 下行高峰交通模式: 所有乘客都运行至基站;
- 4) 层间交通: 层间可能性的交通;

5) 空闲交通: 楼层的客流稀少, 不足以使用全部电梯, 而让其余的电梯正常服务。

其中上行高峰与下行高峰不是简单的顺序倒置。下行高峰有多个到达(起始)楼层, 而只有一个目的层; 上行高峰仅有一个到达楼层而有多个目的楼层。这种区分的意义在于准确估计乘客平均候梯时间。交通模式的识别是电梯群控系统的一项重要内容, 是调度策略优化的必要前提。

4.2 电梯群控系统的控制策略

早期基于继电器控制器的集选控制方法, 轿厢通常停留在沿其运行方向上最近的呼叫发生处。其缺点是无法回避多电梯扎堆问题, 使得时间间隔、平均候梯时间变大。电梯群的运行控制是一个多输入/多输出的多目标决策过程, 应根据不同的建筑物交通模式采用不同的调度方法。

4.2.1 分区调度方法^[9~11]

这是电梯群控常见的方法, 一般分为静态分区, 按时间表分区和动态分区。静态分区是根据电梯台数和建筑物层数将电梯划分为固定的运行区域, 调度一组轿厢服务于通常毗邻的楼层, 各部电梯仅响应本分区内的层站呼叫。不足之处是层站呼叫的随机性容易造成梯群中的电梯忙闲不均。按时间表分区是按预制的时间段进行分区, 这个时间段通常与高峰交通或交通拥挤时段恰好吻合, 且电梯在一天当中剩下的时间服务于全部楼层。

由于这些方法难以适应时变的交通特性, 因此对动态分区的研究便显得十分必要。动态分区是按照一定的顺序把电梯服务区域连成环形, 每台电梯的服务区域随电梯的位置和运行方向作顺时变化, 以解决上述电梯忙闲不均的现象。但由于电梯位置、轿厢内人数和响应呼梯信号的速度不同, 有时会造成电梯配置不尽合理。

从基于高峰交通的动态分区理论可知, 运行周期和乘客乘载能力两个方面均有所进步。而综合动态分区的概念已经拓展到包括随机层间交通条件, 高峰状态变为特殊情况: 利用不等的层间交通量的通用交通条件, 得出适合于指派到每个分区中的每一个轿厢的“等效运行周期”, 再利用遗传算法优化轿厢等效运行周期的成本函数, 从而选择电梯的最佳分区^[10, 11]。

4.2.2 基于搜索算法的方法

搜索算法是指在可能的调度方案中, 搜索满足约束条件的最优方案。从搜索结果是否可以变更的意义上可分为贪婪搜索算法和非贪婪搜索算法^[12, 13]。

贪婪算法: 当层站呼叫首次注册时, 便将层站呼

叫指派给某部电梯,而后不再考虑对该呼叫的指派其约束条件是候梯时间、行程时间和轿厢拥挤度加权和最小。因为该方法以响应最快为贪婪准则,所以缺少灵活性,使指派电梯改组变得困难。

非贪婪算法:在每个呼梯事件发生后,对于新到达乘客的轿厢指派进行大量的搜索,允许推迟任务指派或者根据新增层站呼叫或乘客目的层站信息对层站呼叫再指派。主要有FM算法,ESA算法和DLB算法,其中,FM的约束条件是候梯时间的平方和最小;ESA的约束条件是当前拥挤时间最小。二者都仅适合于下高峰交通方式。DLB算法以平衡轿厢乘客荷载的方式,通过均匀地将比邻的相互不重叠的分区分配给每一个轿厢来保持轿厢均匀分布。此外,还有遗传算法、模拟退火算法以及局内调度算法等。

4.2.3 基于规则的方法

从一定的意义上讲,所有的控制策略都是基于规则的。随着基于预测函数的调度方式的进展^[14],研究者基于对候梯时间的预测,对这一主流控制方法进行了改进。利用专家系统的方法和模糊理论处理高峰时间交通状况;根据专家规则确定当前占主导地位的交通模式,之后发布事先定义好的与这种模式相应的调度决策。由于交通模式的时变性、专家知识的获取、不一致性的描述以及维护潜在的规则集合等问题,使得专家系统的应用变得困难。

基于上述原因,模糊逻辑、模糊规则的使用在20世纪90年代变得非常流行。模糊逻辑用于描述交通模式,模糊规则包含在专家系统中用来实施更具有弹性的推理机制。

4.2.4 基于随机过程理论的方法

随机性是事件发生与不发生的因果律破坏而造成的一种不确定性。多种可能的结果会呈现一定的规律。电梯群控系统统计特性与动态特性都是其随机特性的表现,因此可应用随机过程的理论解决电梯群控优化问题。

乘客到达过程是一个随机过程,由3个关键的随机变量来描述:到达时间、到达楼层和期望目的层,这些不确定性是决定由哪个轿厢向乘客提供服务的依据。根据决策过程不确定性的类型将乘客分成几种类型:新到乘客、已到达乘客和未到达乘客。

基于此,将电梯群的调度问题归结为一个批量服务随机排队系统问题,采用基于阈值的最小化平均候梯时间指派策略,阈值与轿厢数量是线性关系,同时该方法的实施并不需要前厅乘客的队长,所需要的是前厅可用轿厢的数量和每个轿厢中的人数。阈值的确定方法为:应用再励学习的方法和概率模

型算法,针对不同的到达率,求解动态规划方程^[15,16]。

5 电梯群控的关键技术

20世纪70年代中期,智能技术在电梯群控系统中得到广泛应用^[17]。如表1所示,模糊控制、神经网络、专家系统、进化算法、动态规划方法、Petri net技术以及随机过程技术等成为电梯群智能控制的几个关键技术。

表1 电梯群控的部分智能化调度算法

应用技术	主要控制目标
模糊控制	减小候梯时间和乘梯时间,减小轿厢内拥挤度,减少长候梯率,防止扎堆
神经网络	减小候梯时间
模糊神经网络	减小系统响应时间,减小候梯率
专家系统	减小系统响应时间,减小系统服务时间,减小候梯时间
模糊专家系统	减小等待时间,减小乘梯时间
遗传算法	根据楼层属性满足不同服务要求,减小候梯时间
目的层控制	有效减少乘客乘行时间和拥挤,提高群控运行的效率,解决目的层不确定性的难题
Petri net 技术	最小等待时间,最小平均等待时间
Markov 决策与排队论	基于交通流参数(乘客候梯时间,乘梯时间,逗留时间,加权队长)优化乘客到达率

5.1 模糊控制技术

模糊控制技术在EGCS中应用的实质是由专家的知识决定隶属函数及模糊控制规则,并由此确定以后的控制行为,实现对每个派梯方案的评价,以得出当前系统中符合性能指标要求的最佳方案^[18-20]。

三菱公司的电梯控制系统首先使用了模糊逻辑,在层站呼叫按钮按下后即可选择适当的控制规则。模糊逻辑随后用于识别基于人流密度、进\出客流量及层内的交通流量的交通模式。比较典型的是确定区域密度的二级模糊逻辑模型^[18,19]。对处理电梯交通系统随机性,模糊控制技术在电梯控制系统中显示了高度的优越性。

电梯群控系统中模糊逻辑的应用主要有以下几个方面:

- 1) 模糊推理:根据模糊规则进行推理,选出响应层站呼梯信号的最佳轿厢;
- 2) 模糊预测:对电梯的状态进行预测,从而选出最佳运行方案;
- 3) 交通模式识别:根据客流密度、进出人数、层间客流情况进行交通模式识别;
- 4) 与人工神经网络结合组成模糊神经网络,用

于交通模式识别和调度策略优化;

5) 利用模糊技术在监视系统的图像理解和处理中确定乘客人数;

6) 根据轿厢质量传感器所示质量, 使用模糊技术确定轿厢内乘客人数.

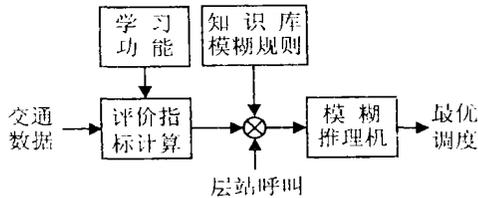


图 2 FLEX-8800 模糊控制系统结构

图 2 为具有模糊逻辑的电梯群控系统 FLEX-8800^[21]。为得到电梯最优调度, 系统使用了多评价指标的多级模糊规则完成多级决策。呼梯分配系统中增加一个综合评价系统, 包括候梯时间、长时间候梯率及预测误差率评价指标阈值。与传统的系统相比, 平均候梯时间减少了 15%~25%, 超过 1 min 的长候梯率减少了 48%~80%, 轿厢到达的预报准确率提高了 60%~80%。

存在的问题是, 尽管专家知识可以更好地处理电梯系统的多目标性、随机性和非线性, 但由于隶属函数加权系数不会根据不同交通模式而改变, 无法自主学习, 运行时无法修正规则, 因而使系统性能受专家知识影响很大

5.2 神经网络技术

神经网络具有非线性、非局限性及动态性的特点和较强的学习功能。1994 年神经网络技术开始引进电梯群控系统^[22]。神经网络在电梯群控系统中的应用主要有两方面: 建筑物交通模式的识别和电梯调度策略优化

5.2.1 神经网络用于群控交通模式识别^[23-25]

1) 将特定建筑物若干天的交通数据存储起来, 从中提取特征数据。系统以一定的采样周期采集信息作为样本, 对一个指定的周期使用特征数据重复地训练神经网络, 直到满足收敛条件^[24];

2) 在实施范围内, 借助于最新编制的神经网络识别出交通模式;

3) 根据识别出的交通模式实现相应的有效操作, 选出最佳派梯方案。

通过输入数据的不断训练学习, 获得对新交通条件的适应能力, 应用最小候梯时间的性能判据, 选择合适的交通模式, 使系统选择最佳的层站呼叫分配算法。

5.2.2 应用效果

利用神经网络能够确定 5 种共同的交通模

式^[25]:

- 1) 上行高峰;
- 2) 下行高峰;
- 3) 脱离高峰;
- 4) 单程运行;
- 5) 双程运行。

存在的问题是: 神经网络是一种黑箱式结构, 全局优化逼近能力受到制约。由于神经网络实施的前提是将某些类型的神经网络储存起来, 以实时采集到的交通数据为基础, 所以会出现重复学习的过程。另外电梯系统是多状态的, 为得到最优的输入/输出映射, 使用单纯的神经网络会使其结构相当庞大, 网络的离线和在线学习时间都会较长, 使控制部分的收敛性变差, 同时网络结构的合理改变难以验证

5.2.3 模糊神经网络用于派梯过程^[19, 26]

模糊神经网络(FNN)是将神经网络与模糊逻辑二者有机结合, 采用神经网络技术进行模糊信息处理, 使得模糊规则的自动提取及模糊隶属函数的自动生成成为可能, 进而克服神经网络结构难以确定以及模糊逻辑无自学习功能的缺点, 使模糊系统成为一种自适应系统。模糊神经网络的建立和使用步骤如下:

- 1) 利用专家知识概略地形成模糊模型;
- 2) 基于这一模糊模型构成模糊神经网络;
- 3) 训练神经网络, 采集特定的交通数据作为样本, 采用相应算法进行学习, 调整神经网络必要的权值, 以得到优化的模糊规则;
- 4) 网络的应用

网络的输入数据是在统计数据 and 实时数据的基础上进行预测得到的, 这就要求实时地采集数据, 周期性地统计和存诸数据。预测到神经网络的输入后, 经过网络的计算, 在较精确地识别出交通模式之后, 对不同的模式采取适合其特点的相应控制算法, 选出派梯方案。图 3 是东芝公司的模糊神经网络电梯群控系统 EJ-1000FN^[26]。将模糊逻辑作为电梯系统性能预测模型, 以模糊规则的集合形式存储控制参数与电梯系统响应的关系, 用模糊推理的方式预测系统的性能, 在性能调整函数中使用预测模型, 以获得当前交通条件下最佳的控制参数

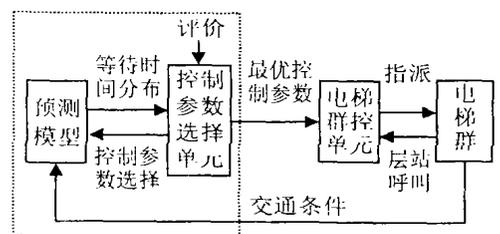


图 3 FNN 电梯群控系统性能调整

5.2.4 应用效果

模糊神经网络的应用, 使得自动适应各种不同

的交通条件成为可能,乘客候梯时间可以保持在较小的数值。借助于模糊推理的数据整理分析,使得针对交通量的变化具有较好的鲁棒性。另一方面,神经网络的自学习能力使得系统适应于长期间内的交通量变化。系统能够适应建筑物内的各种条件变化,与模糊控制相比平均候梯时间减少了10%,长候梯率减少了20%,并有效地控制了扎堆现象。

5.3 专家系统技术

专家系统主要研究用于处理复杂系统工程技术问题的知识表示、使用和获取的方法,依靠经验的、尚未形成科学体系的领域专家知识对系统进行控制。专家系统在电梯群控中的应用始于20世纪90年代^[27~29]。

专家系统通过使用标准的程序包,设置原始型电子数据表格,模拟输入交通量,其结果被动态地连接到仿真器上,以显示轿厢的运动,并由连接到交通传感系统的专家系统不断地计算以调整优化轿厢运动。专家知识用“If-Then”形式规则归纳成基本规则,“If”部分用于产生式规则的推理部分,模糊条件作为模糊规则加以存储。系统由群控规则处理分析部分、群控管理实施及系统存储器组成。

5.3.1 模糊专家系统要处理的几个问题^[30]

1) 利用模糊理论解决“模糊表达式”的定性知识和基于经验规则的表达。

2) 在线和实时控制问题,具有即时决策功能的电梯群控制器必须具有较短的响应时间(100~150 ms)。这个时间表达了在输入电梯状态数据、轿厢呼叫数据或层站呼叫数据后输出控制命令所需要的时间。

3) 知识处理系统的构成。群控制器以适合于知识表达形式的知识数据表达专家系统,交通数据和知识数据通过模糊推理机、或规则选择器、或规则执行器,作为控制命令来输出需要的结论。分为基于产生式规则的电梯专家系统和基于模糊规则的电梯专家系统。

4) 知识获取。一种方法是电梯运行最优化的数学分析法,基于过去的交通数据在计算机上生成建筑物的交通量,由模拟退火算法找到对应交通量的最优指派轿厢,然后将该结果与传统方法进行仿真比较,形成最优运行的调度方法;另一种方法是组织知识并通过群控仿真器测试,获得最优运行的调度方法。

5) 规则分组。根据应用的电梯群控系统将规则进行分类,一组针对一个新的层站呼叫注册的规则,另一组则不考虑是否有层站呼叫的发生。

6) 知识表达,即产生式规则表达方式。

5.3.2 应用效果

富士通的FL EX8800,日立的C IP52000,三菱的A 1-2100, A F2200都使用了专家系统技术。其中A 1-2200与A F2100相比^[31],平均候梯时间,在上高峰期,降低15%~30%,其他时间降低10%~20%;超过60 s的长候梯率,在上高峰期,降低30%~60%,其他时间降低20%~40%。

5.4 遗传算法技术

5.4.1 电梯群控中遗传算法的特点

遗传算法是一种全局优化算法,具有方法简单、鲁棒性强、并行性等特点。基于与设计有关的调度、神经网络的训练、维护等难以处理的问题,人们尝试用遗传算法来解决电梯调度问题^[32~34]。其中,染色体表示的是给定方案初始种群,是电梯调度问题的一组可能解,适应度则是根据每个方案来计算乘客候梯时间而估计获得的。遗传算法中的随机搜索通常比那些通过预先定义的调度规则集合产生的调度方案要好。

5.4.2 遗传算法在电梯群控中的应用方法

1) 创建一个由一部电梯远程控制并用以满足所有要求的起始人数的方案。

2) 开始进化演变,以评价来源于“新一代”的每个新产生的方案,随后将选择的被复制的方案进行模拟、预演、评估,以获得相关记录。在电梯交通垂直运输问题上,遗传算法能够依据其相对最小候梯时间的“适应性”记录每一方案。

3) 选择相关的部分方案。基因组一旦经过评价,通过选择过程,选择那些能够将其基因类型传输给下一代的个体。

4) 由复制品方案组成,常使用的算法是“交叉”和“变异”,交叉使得第一代最好的品质涵盖其衍生代中。

5) 一个重复的过程。最终优化的方案在几代以后才能确定(依据概率),占用了更多时间的过程是对解决方案的评价。

5.4.3 应用效果

遗传算法于1993年应用于日立公司高速乘客电梯NPX-8000的FI系列电梯群控系统。其中,FI-340G系统具有4种功能^[34]。

1) 学习功能:从层站呼叫处采集层站呼叫和交通量需求数据,用于学习特定的交通量需求;

2) 智能化功能:生成最有效的多目标操作程序;

3) 操作功能:基于事先输入的多目标控制模式指派层站呼叫;

4) 信息功能:包括至少4种特性的LED显示,

显示正在提供服务的电梯状态参数以引导乘客

文献[32]的研究表明, 每个时间段依次回答呼叫响应的百分率分别为: 在 0~ 10 s 的时间段记录中, 通过微处理器应答的百分率为 49%, 而使用 GA 算法则增加到 59%; 在 10~ 20 s 的时间段也增加了 5%.

5.5 Petri 网技术

Petri 网技术是由德国的 Petri 博士于 1962 年提出的一种研究信息系统及其相关系数的数学模型. 经过 30 多年的发展, Petri 网技术日臻完善, 它能较好地描述系统的结构, 表示系统中并行、同步、冲突及因果依赖等关系, 并以网图的形式简洁直观地模拟离散事件系统, 分析系统的动态性质. Petri 网是电梯群控系统建模的有力工具.

早期的 Petri 网仅适用于单部电梯的建模, 直到 1996 年才出现基于 Petri 网的电梯群控系统动态调度方法^[35]. 该方法是基于 Petri 网提出的混合多电梯系统模型.

Petri 网模型的 4 种模块及功能分别为: 1) 基本运动模块, 对电梯从一层到另外一层的运行轨迹建模; 2) 加载/卸载模块, 用于处理呼叫状态和加载/卸载活动; 3) 方向倒转模块, 在合适的时间改变电梯的运行方向; 4) 呼叫管理模块, 用于管理层站呼叫和轿厢呼叫以及将不同的电梯集中到一组. 系统全部完整的模型是上述 4 种模型的复制组合. 图 4 为基于 Petri 网的电梯动态调度框图, 其成本函数为 $Cost = \text{Waiting Cost} + \text{Riding Cost} + \text{Power Cost}$ ^[36].

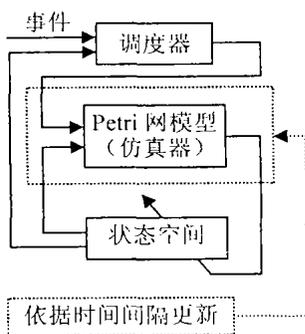


图 4 基于 Petri 网的电梯群动态调度框图

该方法使一些不充分的触发序列不生成, 从而使搜索空间有效地减少, 控制规则的使用满足了人性化 and 期望的效率. 为获得基于 Petri 网的调度策略, 采用事件驱动动态调度策略和启发式的搜索算法, 较好地处理了电梯群控系统的信息不充分和不确定的随机性. 由层站呼叫指派算法来估计调度结果, 可确定最优化的调度结果.

存在的问题是, Petri 网建模的状态空间庞大,

不可避免地会出现组合爆炸问题. 尽管有的方法可以使模型独立于建筑物规模, 但所付出的计算成本是非常高的. 另外, 现有方法大都基于理想的交通条件, 对于通用交通条件的 Petri 网的研究还不多见, 大多数文献还停留在理论研究阶段.

5.6 随机过程技术

电梯群控系统的随机行为使得随机过程技术的应用成为可能. 针对上高峰交通条件, 将电梯群控系统看作批量服务的排队系统. 应用马尔可夫决策理论研究电梯群最优调度是电梯群控技术的一个研究方向^[37]. 将上高峰情况作为一个有限容量的单排队模型处理, 其排队系统的构成是: N 部处理容量为 C 的电梯, 乘客到达过程服从密度为 λ 的 Poisson 分布, 服务规则为 FCFS, 每个乘客到达行为导致一个轿厢到达行为. 其中服务台以批量方式对乘客提供服务, 但处理能力不能超过 C . 批量运送乘客的时间服从参数为 μ 的负指数分布.

一个轿厢把所有乘客都运送完, 直接返回基站以运送更多的上高峰乘客, 即为一个轿厢到达行为, 表明 N 部轿厢中的一部待用. 当所有的乘客以固定到达率达到大厅, 且不允许有其他分离楼层情况下, 可以得到纯上高峰交通模式的最优化答案. 但应注意的问题是:

- 1) Poisson 过程对于中等规模的建筑是可靠的;
- 2) 采用一个服从常数 μ 的指数分布的模型, 其服务时间往往受到运行时间、停站数量、卸载时间、关门时间和保持时间的随机影响;
- 3) 当到达率较高时, RTT 会随到达率的增加而增加, 导致乘梯时间增加, 运输效率下降.

尽管马尔可夫排队论是解决复杂随机服务系统排队问题的有力工具, 但由于纯上高峰交通条件是一个理想的假设, 所得结果必然要受到随机的层间交通的影响^[38], 因此, 电梯群控调度问题受排队模型的局限性较大. 另外, 该理论对于电梯成批服务的建模和优化方面的研究尚处于探索阶段, 方法的通用性还有待于进一步研究.

5.7 建模技术

电梯群控系统建模的途径一般有两种^[39]: Monte Carlo 仿真和基于概率理论的运行周期模型. Monte Carlo 方法通过直接并入当前系统使用的群控逻辑, 评价电梯群和监控逻辑, 但需要大量的仿真时间随机地调整电梯群. 而基于 RTT 利用排队理论对服务进行建模, 目的是获得电梯群运行的准确预测并进行仿真.

群控系统设计的前提是正确计算到达基站的乘

客人数以及乘坐电梯轿厢内的乘客人数,以选择合适的电梯运送这些乘客.电梯交通设计的一个基本公式是S-P方法,该法给出了在已知前厅进入轿厢的乘客人数时,轿厢在高峰情况下的可能停站数,但乘客的人数还不能计算. Al-Sharif 提出了S-P方法的逆标算法,即基于停站的数量对乘客的人数进行统计计算^[40]. 随后出现了RTT的改进算法,基于乘客需求量和轿厢数量计算电梯系统的服务参数^[41]. 此外,还有目的层控制技术和多智能体技术^[16,42].

6 国内电梯群控技术的研究状况

我国电梯群控技术的研究始于20世纪90年代,较发达国家相对迟晚,但发展趋势很快,国内的一些大学对电梯群控技术纷纷展开研究并取得了成果. 研究内容主要有以下几个方面:

1) 电梯交通配置方法及其软件的研究. 针对不同的服务模式采用不同的评价方法,确定优化的电梯交通配置^[43].

2) 虚拟仿真环境的研究. 为研究电梯群控调度方法、交通流量仿真、电梯交通配置优化而开发的一种软件环境^[44,45].

3) 基于模糊逻辑、神经网络、专家系统及人工智能技术的交通模式识别^[46~48]. 其中具有典型意义的是利用专家知识,采用二步模糊神经网络确定交通模式的研究.

4) 采用随机理论和细胞自动机理论的电梯群控系统建模^[49~51]. 应用排队论的 $E_k/M/n$ 模型描述电梯群控系统的行为,从而获得系统的性能指标,为群控系统的评价以及上高峰马尔可夫决策的实施提供支持;运用细胞自动机理论进行建模是一种新方法,由细胞自动机模型仿真电梯运动行为,对派梯队列进行派梯控制,构造了基于细胞自动机的电梯群控系统模型,再用OD矩阵法对客流进行建模分析,为群控系统建模提供了新思路.

5) 遗传算法及模糊神经网络技术在电梯群控中的应用研究^[52,53]. 其中遗传算法与模糊神经网络结合构成一种智能多模式调度方法^[52];模糊表达与网络学习能力,使算法能根据各种单一模式算法结果产生样本数据,得到与单一模式群控算法相应服务指标相同或相近的效果,从而实现根据不同的交通模式合理调度电梯. 而文献^[53]是基于领域知识和遗传算法的滚动优化方法,采用逐步优化的策略,先利用呼梯分配方法得到一个次优解,然后利用遗传算法进行校正. 这些方法都很有研究意义.

7 电梯群控技术的发展方向及要解决的问题

电梯群控系统的最优控制是一种基于时间最

优、运力最优、能量最优的动态综合最优化策略. 从总体上看,电梯群控技术的发展趋势主要有以下4个方面:

1) 基于人性化考虑的高度智能化. 当建筑物使用功能变化时,允许业主作必要的参数调整和允许乘客作必要的设定以满足使用者的要求. 这就要求系统具有性能参数的在线自适应调整功能,通过在线学习,围绕最优性能指标使系统以最小的扰动工作在最佳状态.

2) 基于工程意义的高层建筑电梯配置与分析. 这是电梯技术与工程应用的必然接口. 英国Peters公司的ELEVATE™和美国Otis公司的OTISPLAN^R已引起电梯业界和建筑设计行业的重视,其中OTISPLAN^R主要包括3个部分^[54]:单梯群性能指标计算、多梯群配置最优决策以及派遣器性能仿真.

3) 基于节能化的电梯群控技术. 从静态的电梯交通配置到动态的群控系统,电梯的能耗指标往往被忽视. 统计数据表明,电梯的能耗约占大楼综合能耗的3/7,与电梯群控系统的品质直接相关,因此节能目标将是电梯群控系统必须考虑的关键目标.

4) 群控技术产品的市场化. 未来的群控技术的研究将侧重于商品系统的开发,即面对需求面对市场.

综上所述,电梯群控技术在发展中应着重解决的问题至少有以下几个方面:

1) 电梯群控系统随机服务行为建模问题. 研究重点是交通流的随机性及其分布,高峰交通流量的多参数随机性研究,以及混合交通模式的交通分布律.

2) 多智能体技术的应用. 多智能体用于电梯群控的研究还处于初级阶段^[6,42]. 需要解决的问题是:如何构造电梯群控系统的智能体结构,制定推理规则库,确定独立智能体的推理方法,以及确定优选最终结果的方法.

3) 局内调度优化技术. 从组合优化的角度,电梯群控问题又可分为:局外优化问题,要求根据给定建筑物的固有参数计算最优化的停站序列,其中未考虑时变的交通条件;多个轿厢的局内调度优化问题,这当中必须处理瞬间的未知交通条件变化的情况. 文献^[55]提出了该算法在电梯群控系统应用的可能性.

4) 通用的电梯交通配置软件的开发. 重点开发基于建筑设计的电梯交通配置与分析软件,着眼于局外优化与局内调度的有机结合,为电梯群控打

下必要的基础。

5) 基于应急疏散的电梯交通配置。电梯用于应急疏散是目前学术界争论的热点。定量分析表明, 利用电梯进行疏散与传统的利用疏散楼梯疏散相比, 前者伤亡人数远远小于后者^[56]。这说明将疏散功能纳入群控系统研究的必要性, 重点研究紧急情况下的交通流量分布模型以及电梯群的应急调度策略

6) 目前我国的电梯应用市场绝大部分是国外技术。因此, 研究开发具有独立知识产权的商品化电梯群控系统具有重大意义

8 结 论

本文基于已有文献, 对电梯群控技术的现状与发展方向作了较为全面的综述, 对电梯群控的关键技术及其发展方向进行了讨论。综上所述, 可以得出如下结论:

1) 模糊逻辑在电梯群控中取得了很好的效果, 但只有与神经网络有机结合在一起才能克服模糊逻辑的不足和神经网络的结构、训练样本的数量以及网络的记忆性与遗忘性的矛盾;

2) 专家系统与模糊逻辑的结合可以实现在线实时决策的功能, 克服了模糊逻辑的隶属函数权值难以在线调整问题;

3) 从搜索的意义上讲, 遗传算法是进行电梯群最优调度方案的较为适合的搜索方法;

4) 在建模方面, 随机过程技术、Petri 网技术和细胞自动机模型技术是适合电梯群运行行为建模的可行方法, 对于任意分布的交通流量随机模型的建立是电梯服务系统建模的重点;

5) 多智能体技术用于电梯群控系统已引起学术界的重视, 它集智能技术方法于一体, 使得多种智能技术的集成应用成为可能, 并取得了初步的理论成果;

6) 局内调度技术尚未有实际的应用, 但基于该方法特点以及电梯群控系统的特殊性, 局内调度技术具有实践意义;

7) 基于应急疏散的电梯群控是电梯交通配置技术应用中容易忽视的一个方向, 应该结合通用电梯交通配置软件的开发, 对基于应急疏散的高层建筑电梯群配置问题进行深入研究

参考文献(References)

[1] Barney G C, Dos Santos S M. *Elevator Traffic Analysis: Design and Control* [M]. London: Peter Peregrinus, 1985

[2] 朱德文. *电梯交通系统的智能控制与应用* [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2002

(Zhu D W. *Intelligent Control and Application of Elevator Traffic System* [M]. Changchun: Jilin University Press, 2002)

- [3] Kim C B, Seong K A, Hyung L K, et al. A Fuzzy Approach to Elevator Group Control System [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1995, 25(6): 985-990
- [4] Brand M, Nikovski D. Optimal Parking in Group Elevator Control [A]. *Proc of the IEEE Int Conf on Robotics and Automation* [C]. New Orleans, 2004: 1002-1008
- [5] Brand M, Nikovski D. *Decision-theoretic Group Elevator Scheduling* [R]. Mitsubishi Electric Corp, 2003
- [6] Yasuhiro O, Haruhiko K, Sadaki H, et al. Elevator Group Control System Using Multi-agent System [J]. *Systems and Computers in Japan*, 2003, 24(1): 45-58
- [7] Ho Y W, Fu L C. Dynamic Scheduling Approach to Group Control of Elevator Systems with Learning Ability [A]. *Proc of the IEEE Int Conf on Robotics and Automation* [C]. San Francisco, 2000: 2410-2415
- [8] Kim C B, Seong K A, Hyung L K, 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.
- [9] So A T P, Yu J K L, Chan W L. Dynamic Zoning Based Supervisory Control for Elevators [A]. *Proc of The IEEE Int Conf on Control Applications* [C]. Hawaii, 1999: 1591-1596
- [10] So A T P, Chan W L. Comprehensive Dynamic Zoning Algorithms [J]. *Elevator World*, 1997, 45(9): 99-103
- [11] Beielstein T, Markon S, Preuss M. A Parallel Approach to Elevator Optimization Based on Soft Computing [A]. *Proc of the 5th Metaheuristics Int Conf* [C]. Kyoto, 2003: 25-28
- [12] Beielstein T, Ewald C P, Markon S. Optimal Elevator Group Control by Evolution Strategies [A]. *GECCO 2003-LNCS 2724* [C]. Berlin: Springer-Verlag, 2003: 1963-1974
- [13] Crites R, Barto A. Elevator Group Control Using Multiple Reinforcement Learning Agents [J]. *Machine Learning*, 1998, 33(3/2): 235-262
- [14] Hirasawa K, Kusunuki S, Iwasaka T, et al. Hall Call Assignment in Elevator Supervisory Control [J]. *The Trans of IEJ-C*, 1979, 99(2): 27-32
- [15] Pepyne D L, Cassandras C G. Optimal Dispatching Control for Elevator Systems During Up-peak Traffic [J]. *IEEE Trans on Control Systems Technology*, 1997, 5(6): 629-643

- [16] Nikovski D, Brand M. *Marginalizing Out Future Passengers In Group Elevator Control* [R]. Cambridge: Mitsubishi Electric Corp, 2003
- [17] Alani A F. Performance Optimization of Knowledge-based Elevator Group Control System [A]. *Elevator Technology* 6 [C]. HK: AEE, 1995: 114-121
- [18] Ho M, Robertson B. Elevator Group Supervisory Control Using Fuzzy Logic [A]. *Proc of Canadian Conf on Electrical and Computer Engineering* [C]. Halifax, 1994: 825-828
- [19] Kim C B, Seong K A, Hyung L K, et al Design and Implementation of FEGCS: Fuzzy Elevator Group Control System [A]. *Proc of the Biennial Conf of the North American on Fuzzy Information Processing* [C]. Berkeley, 1996: 109-113
- [20] Shiro H. New Elevator Group-control Method for Up-peak Periods [J]. *Int J of Systems Science*, 2003, 4 (34): 309-317.
- [21] 棚桥彻 インター制御を用いた超高速エレベーター [J]. *三菱电机技報* [J], 1990, 64(10): 817-822 (Tanajao Tashilu. The Super High Speed Elevator to Using Variable Frequency Control [J]. *Mitsubishi Motor Technology Journal*, 1990, 64(10): 817-822)
- [22] Markon S, Kita H, Nishikawa Y. Adaptive Optimal Elevator Group Control by Use of Neural Networks [J]. *Trans of the Institute of Systems, Control, and Information Engineer*, 1994, 7(12): 487-497.
- [23] So A T P, Liu S K. An Overall Review of Advanced Elevator Technologies [J]. *Elevator World*, 1996, 44 (6): 96-101.
- [24] Kubo S, Nakai S, Masaki N, et al Elevator Group Control System with a Fuzzy Neural Network [A]. *Elevator Technology* 6 [C]. HK: AEE, 1995: 11-20
- [25] So A T P, Beebe J R, Chan W L, et al Elevator Traffic Pattern Recognition by Artificial Neural Network [A]. *Elevator Technology* 6 [C]. HK: AEE, 1995: 122-131.
- [26] Masaki N, Kubo S, Nakai S, et al Elevator Group Control System Tuned by a Fuzzy Neural Network Applied Method [A]. *Proc of Int Joint Conf of the 4th IEEE Int Conf on Fuzzy Systems and the 2nd Int Fuzzy Engineering Symposium on Fuzzy Systems* [C]. Yokohama, 1995: 1735-1740
- [27] Tsuji S, Amano M, Hikita S. Application of the Expert System to Elevator Group-supervisory Control [A]. *Proc of the 5th Conf on Artificial Intelligence for Applications* [C]. Miami, 1989: 287-294
- [28] Pang G K H. Elevator Scheduling System Using Blackboard Architecture [A]. *IEE Proc D on Control Theory and Applications* [C]. Stevenage, 1991: 337 - 346
- [29] Clark G G, Mehta P, Prose R. Knowledge-based Elevator Controller [A]. *Int Conf on Control* [C]. Coventry, 1994: 21-24
- [30] Sogawa Y, Ishikawa T, Igarashi K. Supervisory Control for Elevator Group by Using Fuzzy Expert System Which Addresses the Riding Time [A]. *Proc of IEEE 22nd Int Conf on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation* [C]. Taipei, 1996: 419-424
- [31] Masaaki A, Toshio M. The new Σ F2200 Elevator Group-control System [J]. *Mitsubishi Electric Advance*, 2002, 99(9): 12-15
- [32] Miravete A. Genetics and Intense Vertical Traffic [J]. *Elevator World*, 1999, 47(7): 118-120
- [33] Cortés P, Larraneta J, Onieva L. Genetic Algorithm for Controllers in Elevator Groups: Analysis and Simulation During Lunch-peak Traffic [J]. *Applied Soft Computing*, 2004, 4(2): 159-174
- [34] Kenji Y. Multiobjective Elevator Supervisory-control System with Individual Floor-situation Control [J]. *Elevator World*, 1999, 47(5): 90-95
- [35] Lin C H, Fu L C. Petri Net Based Dynamic Scheduling of an Elevator System [A]. *Proc of IEEE Int Conf on Robotics and Automation* [C]. Minneapolis, 1996: 192-199.
- [36] Huang Y H, Fu L C. Dynamic Scheduling of Elevator Systems Over Hybrid Petri Net/Rule Modeling [A]. *Proc of IEEE Int Conf on Robotics and Automation* [C]. Leuven, 1998: 1805-1810
- [37] Pepyne D L, Cassandras C G. Adaptive Dispatching Control for Elevator Systems During Up-peak Traffic [A]. *Proc of The 36th IEEE Conf on Decision and Control* [C]. San Diego, 1997: 680-685
- [38] Barney G C. *Elevator Traffic Handbook* [M]. London: Spon press, 2003: 15-25
- [39] Iwata M, Sasakawa K, Yamamoto T, et al A Simple Modeling Method of Elevator Group Systems [A]. *Proc of the 41st SICE Annual Conf on SICE* [C]. Osaka, 2002: 981-986
- [40] Lutfi A I Sharif L R. New Concepts in Lift Traffic Analysis: The Inverse S-P Method [A]. *Proc of ELVECON '92* [C]. Amsterdam, 1992: 8-17.
- [41] Maeda T, Komaya K. Revised Design Calculations of Elevator Systems [A]. *Proc of IEEE Int Conf on Systems, Man, and Cybernetics* [C]. Nashville, 2000: 1041-1046
- [42] Koehler J, Ottiger D. An AI-based Approach to Destination Control in Elevators [J]. *AI Magazine*, 2002, 23(3): 59-79.

- [43] 朱德文, 梁质林 电梯交通DT102 技术设计与研究 [J]. *控制工程*, 2003, 10(3): 259-266
(Zhu D W, Liang Z L. Design and Research of DT102 Technique on Elevator Traffic [J]. *Control Engineering of China*, 2003, 10(3): 259-266)
- [44] 宗群, 蔡昱 虚拟环境下的电梯配置[J]. *制造自动化*, 2001, 23(1): 28-31.
(Zong Q, Cai Y. Elevator Configuration in Virtual Environment [J]. *Manufacturing Automation*, 2001, 23(1): 28-31)
- [45] Zong Q, Xue L H, Wang Z S Virtual Simulation Environments of Elevator Group Control Systems[J]. *Elevator World*, 2001, 49(12): 90-93
- [46] 宗群, 蔡昱 基于电梯交通流概率仿真模型的空闲交通模式电梯调度方法[J]. *控制与决策*, 2002, 16(3): 339-342
(Zong Q, Cai Y. Elevator Dispatching Method in Idle Traffic Mode Based on Elevator Traffic Probability Simulation Model [J]. *Control and Decision*, 2002, 16(3): 339-342)
- [47] 宗群, 尚晓光, 岳有军 电梯群控系统的交通模式识别[J]. *控制与决策*, 2001, 16(2): 418-424
(Zong Q, Shang X G, Yue Y J. Traffic Pattern Recognition of Elevator Group Control Systems [J]. *Control and Decision*, 2001, 16(2): 418-424)
- [48] 李中华, 朱燕飞, 李春华, 等 基于人工免疫聚类算法的电梯交通流分析[J]. *华南理工大学学报*, 2003, 31(12): 26-29
(Li Z H, Zhu Y F, Li C H, et al Study and Implementation of Intelligent Multi-pattern Elevator Group Control Dispatching Method [J]. *J of South China University of Technology*, 2003, 31(12): 26-29)
- [49] 孙东, 张惠侨, 朱昌明 电梯服务系统的理论建模与分析[J]. *上海交通大学学报*, 1996, 30(3): 113-119
(Sun D, Zhang H Q, Zhu C M. Theoretical Modeling and Analysis of Elevator Service Systems [J]. *J of Shanghai Jiaotong University*, 1996, 30(3): 113-119)
- [50] 许玉格, 罗飞 基于细胞自动机的电梯群控系统建模及其面向对象实现[J]. *计算机工程与应用*, 2004, 40(11): 40-42, 63
(Xu Y G, Luo F. An Elevator Group Control System Model with Cellular Automata and Its Object-oriented Realization [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004, 40(11): 40-42, 63)
- [51] 徐国圣, 朱昌明 一种电梯客流交通分布的求法[J]. *应用基础与工程科学*, 2004, 12(7): 86-92
(Xu G S, Zhu C M. A Solution for Elevator Traffic Distribution [J]. *J of Basic Science and Engineering*, 2004, 12(7): 86-92)
- [52] 宗群, 童玲, 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 Q, Tong L, Ya S H. Elevator Group Control Dispatching Using Genetic Algorithm Based Fuzzy Neural Network [J]. *J of Tianjin University*, 2003, 36(5): 585-589)
- [53] 凌云, 谢剑英 基于领域知识和遗传算法的电梯群控系统的滚动优化[J]. *电气自动化*, 1998, 20(4): 7-10
(Ling Y, Xie J Y. Rolling Optimization of Elevator Group Control System Based on Domain Knowledge and Genetic Algorithm [J]. *Electric Automation*, 1998, 20(4): 7-10)
- [54] Bruce A, Powell Elevator Planning and Analysis on the Web [J]. *Elevator World*, 2002, 50(6): 73-77.
- [55] Manasse M, McGeoch L, Sleator D. Competitive Algorithms for On-line Problems [A]. *Proc of the 20th Symp on Theory of Computing* [C]. Chicago, 1998: 322-333
- [56] Roger E, Howkins In the Event of Fire Use the Elevators [J]. *Elevator World*, 2000, 48(12): 136-142

下 期 要 目

- 经典线性算法的非线性核形式 许建华, 张学工
- 基于 T-S 模型的体操机器人系统模糊变结构控制 郑 艳, 井元伟
- 基于不同类型残缺判断矩阵的群决策方法研究 徐泽水
- 一类切换线性广义系统的稳定性 尹玉娟, 等
- 正则化最小二乘分类的 A l i g n L o o 模型选择方法 杨辉华, 等
- 基于网络演算的网络控制系统确定性延迟模型 王子君, 等
- 活套高度和张力系统的神经网络自适应解耦控制 李伯群, 等
- 软件人群的自律分散组织模型与协调控制 卢庆龄, 等
- 加权 Hausdorff 距离算法在 SAR / N S 景象匹配中的应用 冷雪飞, 等