

# 新型电梯群控系统多目标优化调度策略

罗 飞,赵小翠

(华南理工大学 自动化科学与工程学院,广州 510641)

**摘要:**随着建筑物和乘客流的多样化,电梯的优化调度逐渐发展成为复杂在线多目标优化过程,然而,传统的优化调度已经很难满足电梯群控系统中的多个性能指标同时进行优化的要求。文中针对这一情况,首先通过分析电梯群控系统的目标多样性,复杂性,不确定性等特点,应用多目标优化理论建立了电梯群控系统的多目标优化数学模型;其次分析了粒子群算法与模拟退火算法的优缺点,对粒子群算法进行了改进,提出了一种新型混合优化算法;同时,在建立的多目标优化数学模型的基础上,将此混合算法应用到电梯群控系统中进行优化调度。将混合算法与标准粒子群进行比较,表明该混合算法具有一定的可行性与优越性,在一定程度上改进了电梯群控系统的整体性能和服务质量。该本文为电梯群控系统的调度策略提供了新方法,新思路,并扩充了粒子群算法的应用范围。

**关键词:**多目标优化;电梯群控;粒子群算法;模拟退火算法

**中图分类号:**TP399 **文献标志码:**A

## New Multi-objective Optimal Scheduling Strategy for EGCS

LUO Fei, ZHAO Xiao-cui

(College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** Because of the diversification of buildings and passenger flow, the elevator system has become an on-line complex optimization process, in which lots of indices should be considered. And the traditional optimal scheduling has been difficult to meet the requirements. Aimed at this case, first builds the multi-objective optimization model of EGCS using multi-objective optimization theory. Then propose a new scheduling algorithm by introducing the standard simulated annealing algorithm into particle swarm optimization, and apply it to the EGCS for optimizing scheduling based on the multi-objective optimization mode. Comparing with the particle swarm optimization, demonstrate the feasibility and superiority of the new scheduling strategy in optimizing scheduling. This paper adds the new scheduling algorithm, provides new ideas and new ways for EGCS, and to expands the application of particle swarm optimization.

**Key words:** multi-objective optimization; elevator group control system(EGCS); particle swarm optimization; simulated annealing algorithm

近几十年来,由于电子技术的不断发展和应用,电梯技术也得到了很大的提高,与此同时,人们对电梯的服务质量也提出了更高的要求。建筑物多样化,乘客流多样化,促使派梯已经不再是只以缩

短乘客候梯时间为目标的优化过程,而是逐渐演变成典型的多目标决策问题,即根据不同建筑 and 不同乘客的要求,对多个性能指标同时进行优化的多目标优化过程<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2010-04-02;修订日期:2010-06-08

基金项目:国家自然科学基金项目(60774032)

作者简介:罗飞(1957-),男,教授,博士生导师,研究方向为运动控制系统与人工智能;赵小翠(1984-),女,硕士研究生,研究方向为智能控制。

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<sup>[2]</sup>。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整体性能<sup>[3]</sup>。粒子群算法是一种新型的基于种群寻优的启发式搜索算法,由于其概念简单,易于实现,收敛速度快,自其提出以来,受到众多研究者的青睐,并且被运用到了越来越广泛的领域之中。但是该算法容易陷入局部最小值,针对这一情况,本文结合模拟退火算法的优点,对粒子群算法进行改进,提出一种新型的调度策略,并将其运用到电梯群控系统当中。经过用 MATLAB 仿真,并与标准粒子群算法进行比较,表明该新策略具有一定的可行性与有效性,能有效地提高电梯群控系统的整体性能与服务质量。该策略为电梯群控系统提供了新思路、新方法,并扩展了粒子群算法的应用范围。

## 1 电梯群控系统多目标优化数学模型

### 1.1 多目标优化理论

多目标优化,就是在可行设计空间中寻找一组设计变量以同时优化几个不同的设计目标。与单目标优化问题不同,多目标优化的本质在于,大多数情况下,各个目标之间存在冲突,某目标的改善可能引起其他目标性能的降低,同时使多个目标均达到最优是不可能的,只能在各目标之间进行协调权衡和折中处理,使所有目标函数尽可能达到最优<sup>[4]</sup>。

一个多目标优化问题一般会涉及到下列几个因素<sup>[5]</sup>:

(1)决策变量: $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ , 决策变量  $x_1, x_2, \dots, x_n$  是多目标优化问题的基本变量。

(2)可行解集: $X \subset R^n$ , 一般表示  $X=\{x \in R^n | g(i) \leq 0, h_j(x)=0, i=1, 2, \dots, p, j=1, 2, \dots, q\}$ , 更为广泛的形式为  $X=\{x \in D | g(x) \in C\}$ , 其中  $C \subset R^n, D \subset R^n$  分别为具有某些特征的子集。绝对约束是指必须严格满足的等式约束和不等式约束,如线性规划问题的所有约束条件,不能满足这些约束条件的解称为非可行解。当  $X=R^n$  时,称问题是无约束的。

(3)偏好关系:一个多目标优化问题有若干个目标,在要求达到这些目标时是有主次之分的。若要区别具有相同优先因子的两个目标的差别,可分

别赋予它们不同的权系数  $\lambda_k$ , 并规定  $\lambda_k \geq \lambda_{k+1}, k=1, 2, \dots, K$ , 表示  $\lambda_k$  比  $\lambda_{k+1}$  有更大的优先权,这些都由决策者视具体情况而定。

(4)目标函数: $f(x)=(f_1(x), f_2(x) \dots f_m(x)) m \geq 2$ , 目标函数是多目标决策问题经多目标规划,按各目标约束的正、负偏差和赋予相应的偏好关系而构造的目标函数。

根据以上几个因素,对各个目标要求越小越好的问题常常表示为

$$f(x)=\min\{f_1(x), f_2(x) \dots f_m(x)\}, x \in X$$

其中: $x$  是  $n$  维设计变量; $X$  为可行解集; $f_i(x)$  表示第  $i$  个设计目标; $f(x)$  表示所有设计目标组成的设计目标向量。

### 1.2 电梯群控系统多目标优化模型的构建

根据以上的多目标优化理论,建立电梯群控系统的多目标优化数学模型,如下所述:

#### 1.2.1 决策变量

电梯群控系统的决策变量主要由以下几部分组成:

$F_c(i)$ :呼梯信号  $i$  的楼层;

$F_e(k)$ :电梯  $k$  当前所在楼层;

$M_c(i)$ :呼梯信号  $i$  的乘梯方向;

$M_e(k)$ :电梯  $k$  当前运行方向;

$T(k)$ :电梯  $k$  到达呼叫楼层途中所需停靠次数;

$N(k)$ :电梯  $k$  中乘客的数量。

其中  $k=1, 2, \dots, n, n$  为群控系统中电梯的总数。 $i=1, 2, 3, \dots, m, m$  为呼梯信号总数。

#### 1.2.2 目标函数

综合考虑电梯群控系统的非线性,随机性的特点,乘客的心理和生理的要求,以及能源节约等问题,本文中主要考虑了三个优化目标:乘梯时间(AWT),长候梯率(LWP),系统能量消耗(RNC)。即:

a)候梯时间(AWT),  $AWT \in [0, +\infty]$

候梯时间指从乘客在某层按下呼梯到电梯到达该层的时间间隔。

b)长候梯率(LWP),  $LWP \in [0, 1]$

长候梯率是指在一定时间内,候梯时间超过一定时间(一般为 60s)的乘客占总运载乘客的比例。

c)系统能耗(RNC),  $RNC \in [0, +\infty]$

电梯群控系统的能耗主要消耗在电梯的启/停阶段,因此选用电梯的启/停的次数之和作为系统能耗的评价指标。

本文采用加权组合方法获取多目标优化函数:

$$J_{ik} = \lambda_1 T_{ik} + \lambda_2 P_{ik} + \lambda_3 R_{ik} \quad (1)$$

其中:  $i=1, 2, 3 \dots m$ , 表示有  $m$  个呼梯;  $k=1, 2 \dots n$ ,  $n$  为电梯总数;  $T_{ik}, P_{ik}, R_{ik}$  分别表示第  $k$  部电梯去响应第  $i$  个呼梯的候梯时间, 长候梯率和电梯运行量;  $\lambda$  为加权系数, 且  $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$ , 根据目标函数的侧重点不同, 可以适当调整三者的大小;  $J_{ik}$  为第  $k$  部电梯去响应第  $i$  个呼梯的预估评价价值。

## 2 基于混合算法的电梯群控调度策略

### 2.1 粒子群-模拟退火算法的思想

粒子群算法是由 Kennedy 和 Eberhart 提出的一种基于种群寻优的启发式搜索算法, 通过个体之间的协作来寻找最优解<sup>[5]</sup>。PSO 初始化为一群随机粒子(随机解), 通过迭代找到最优解, 在每一次迭代中, 粒子们不断地追随两个最优解: 一个就是粒子本身所找到的个体极值  $p_{best}$ ; 另一个是整个种群目前找到的全局最优解  $g_{best}$ 。在找到这两个最优值后, 粒子通过更新公式来更新自己的速度和位置<sup>[6]</sup>。迭代终止条件根据具体问题, 一般选为最大迭代次数或微粒群迄今为止搜索到的最优位置满足预定最小适应阈值<sup>[7]</sup>。粒子群优化算法概念简单, 易于实现, 收敛速度快, 并且具有较好的寻优特性, 但是经过若干次迭代后, 粒子失去了多样性, 整个粒子群表现出强烈的“趋同性”, 收敛速度变慢, 极易陷入局部最小, 解的精度较差。

模拟退火是 80 年代初发展起来的一种随机性组合优化方法。它模拟高温金属降温的热力学过程, 并广泛应用于组合优化问题。模拟退火在进行优化时先确定初始温度, 随机选择一个初始状态并考察该状态的目标函数值; 对当前状态附加一小扰动, 并计算新状态的目标函数值; 以概率 1 接受较好点, 以某种概率  $P_T$  接受较差点, 直到系统冷却。模拟退火方法在初始温度足够高、温度下降足够慢的条件下, 能以概率 1 收敛到全局最优值。它以某种概率接受较差点, 增加了粒子的多样性, 避免陷入局部最优, 因此模拟退火的解具有质量高、初值鲁棒性强等优点<sup>[8]</sup>。

根据粒子群算法与模拟退火算法具有互补性的优缺点, 得出粒子群-模拟退火混合优化算法, 利用粒子群算法的易实现性、快速收敛性以及模拟退火算法的概率突跳特征, 增加粒子群体的多样性,

通过两种算法的协同搜索, 有效地克服了粒子群算法的“早熟”现象, 既提高了最优解的质量, 又保证了较快的收敛速度。

### 2.2 基于粒子群-模拟退火混合算法的派梯策略

基于混合算法的派梯策略具体步骤如下, 程序流程图如图 1 所示。

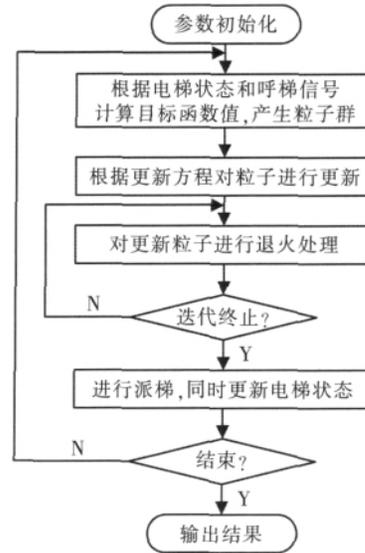


图 1 混合算法派梯策略流程图

Fig.1 Elevator group control system application flow chart

步骤 1 根据乘客的呼梯信号和电梯的当前状态, 利用多目标优化函数(1)分别计算出各个预估评价价值, 其中加权系数取值为  $\lambda_1=0.5, \lambda_2=0.3, \lambda_3=0.2$ 。

步骤 2 将这些预估评价价值看作粒子群算法中的粒子, 利用更新方程对其进行更新。本文中采用的更新方法为含有惯性权值的更新方程:

$$v_i = wv_i + c_1 r_1 (p_b - J_{ik}) + c_2 r_2 (g_b - J_{ik}) \quad (2)$$

$$J_{ik} = J_{ik} + v_i \quad (3)$$

其中:  $J_{ik}$  表示粒子的位置;  $v_i$  为粒子的飞行速度;  $p_b$  为粒子到目前为止经历的最好位置;  $g_b$  为所有粒子目前经历的最好位置;  $w$  为惯性权值, 它使微粒保持运动惯性, 使其具有扩展搜索空间的趋势, 有助于新区域的搜索;  $c_1, c_2$  为正实数, 称为加速度常数;  $r_1, r_2$  为在区间  $[0, 1]$  中变化的随机数; 取  $v_i=65, c_1=0.15, c_2=0.3$ 。

步骤 3 根据模拟退火机制, 对粒子群中的每个粒子进行退火处理, 增加粒子群的多样性, 防止陷入局部最小。本文中采用的退火机制为

$$T_k = \frac{L-k}{L} T_0 \quad (4)$$

其中; $L$ 为控制参数值的衰减步数;起始温度, $T_0 = K \times \delta$ ,  $\delta = \max(J_{ik}) - \min(J_{ik})$ ,  $K$ 为充分大的数,取  $K=1000$ ,  $L=20$ 。

步骤4 判断是否达到迭代终止条件,若否,则转步骤3,若是,则进行全局搜索,选出最优评价值,确定目标层,进行派梯,更新各电梯状态。

步骤5 判断仿真时间到否,若否,则转步骤2,若是,则仿真结束并输出仿真结果。

### 3 仿真与分析

#### 3.1 混合算法在电梯群控系统仿真

本文以4部电梯16层站的混合电梯群控系统作为仿真对象,在MATLAB中依据流程图编写混合电梯群控系统的模型和派梯策略的仿真程序。设定仿真开始时所有的电梯都在1层处于空闲状态,乘客流随机产生,电梯的最大速度为3.0m/s,最大加/减速度为1.2m/s<sup>2</sup>,最大加加/减减速度为1m/s<sup>3</sup>,乘客进/出门的平均时间为2s,开/关门平均时间为2s,额定载荷为1000kg(15人),平均楼层高度为3m。候梯时间的仿真曲线图如图2所示。

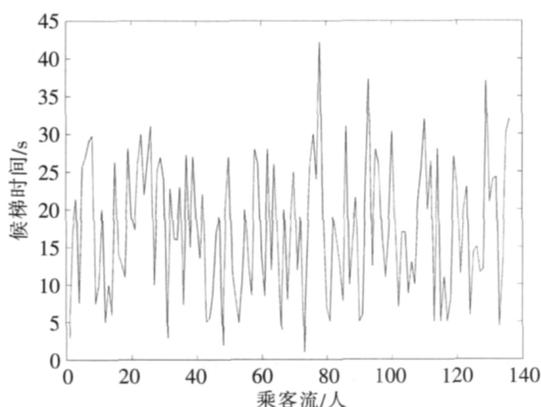


图2 乘客流仿真图

Fig2 Passengers waiting time graph

#### 3.2 混合算法与标准粒子群算法的比较

为了验证混合算法的有效性,用同样的模型,在同一乘客流下,将粒子群算法与混合算法进行比较。由仿真数据(如表1,2,3所示)可得,混合算法的平均候梯时间,长时等待率以及运行量的平均值与粒子群算法相比都有不同程度的提高,其中平均候梯时间减少了1.97s,长候梯率的平均值减少了2.78%,运行量的平均值减少了2.4次,各项重要指标理想,其衡量混合电梯群控系统的三大指标性能均比粒子群算法有较大提高。

表1 候梯时间比较

控制方式	1	2	3	4	5	均值
粒子群	21.45	21.26	21.66	20.58	20.14	21.02
混合算法	19.48	18.65	18.95	19.98	18.18	19.05

表2 长时等待率比较

控制方式	1	2	3	4	5	均值
粒子群	6.06	5.84	6.67	6.21	5.66	6.11
混合算法	3.75	3.20	3.17	3.40	3.14	3.33

表3 系统能耗比较

控制方式	1	2	3	4	5	均值
粒子群	31	30	30	31	28	30
混合算法	29	28	27	28	26	27.6

### 4 结语

本文首先建立了电梯群控系统的多目标优化模型,然后提出了一种模拟退火算法和粒子群算法相结合的混合算法,在建立的多目标优化模型的基础上,将混合算法应用到电梯群控系统当中,进行优化派梯。在相同条件下,将混合算法和粒子群算法进行仿真比较得出,混合算法在一定程度上提高了电梯群控系统的整体性能,特别是在降低平均候梯时间和长候梯率方面效果显著,但是对于减少系统能耗,混合算法还需要进一步提高。

#### 参考文献:

- [1] Yang Zhenshan, Shao Cheng, Li Guizhi. Multi-objective optimization for EGCS using improved PSO algorithm [C]//Proceedings of the 2007 American Control Conference, 2007: 5059-5063.
- [2] Brand M, Nikovski D. Decision theoretic Group Elevator Scheduling [R]. Mitsubishi Electric Corp, 2003.
- [3] 杨祯山, 邵诚. 电梯群控技术的现状与发展方向 [J]. 控制与决策, 2005, 20(12): 1321-1331.
- [4] Lei DeMing, Yan XinPing. Intelligent Multi-objective optimization algorithm and application [M]. Beijing: Scientific Press, 2009.
- [5] Kenji, Yoneda. Multi-objective elevator supervisory control system with individual floor situation control [J]. Elevator World, 1999, 47(5): 90-95.
- [6] 黄少荣. 粒子群优化算法综述 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(8): 1977-1980.
- [7] 高鹰, 谢胜利. 基于模拟退火的粒子群优化算法 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(1): 47-50.
- [8] 王振树, 李林川, 李波. 基于粒子群与模拟退火相结合的无功优化算法 [J]. 山东大学学报, 2008, 38(6): 15-20.