

多目标粒子群优化算法在电梯群控系统中的应用

李素芳^{1,2}, 刘跃敏¹

(1.河南科技大学 电信学院, 河南 洛阳 471003;

2.洛阳理工学院 机电系, 河南 洛阳 471023)

摘要: 利用多目标粒子群优化算法对电梯群控系统进行优化, 建立电梯群控系统响应呼梯信号的综合评价目标函数, 并对电梯群控系统的性能指标进行评估, 从而确定最佳派梯方案。

关键词: 多目标优化; 多目标粒子群算法; 电梯群控系统

中图分类号: TP392

文献标识码: A

Application of MOPSO in the elevator group control system

LI Su Fang^{1,2}, LIU Yue Min¹

(1.School of Electronic Information Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2.Department of Mechatronics Engineering, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023, China)

Abstract: The multi-objective particle swarm optimization algorithm is used to optimize the elevator group control system, and the establishment of elevator group control system to respond to calls for comprehensive evaluation of the signal Ossetia objective function for elevator group control system of performance indicators for evaluation, so the elevator is dispatched optimally.

Key words: multi-objective optimization; MOPSO; elevator group control system

随着社会的发展, 高层建筑、智能化建筑不断出现, 作为垂直运输工具的电梯得到了越来越广泛的应用, 同时, 人们对电梯服务质量也提出越来越高的要求。单台电梯往往不能满足建筑内的交通需求, 为缩短人们的候梯时间, 减少能量损耗, 需要合理安装多台电梯。对于多台电梯的控制, 需要一个优化调度系统, 而这种多台电梯的优化调度系统, 就是电梯群控系统。它采用优化的控制策略来管理多台电梯协调运转, 以提高电梯的运行效率和服务质量。由于电梯群控系统控制目标的多样性、随机性和非线性, 因此是一个比较难解决的多目标优化问题^[1]。

本文采用多目标粒子群优化算法对问题进行优化。将该算法应用到电梯群控系统中, 以候梯时间、乘梯时间、能量消耗和拥挤度作为呼梯信号的综合评价指标, 建立了系统的综合评价函数。结果表明采用多目标粒子群优化算法能够提高系统的效率, 达到系统节能的目的。

1 多目标电梯群控模型

电梯群控系统的主要目标是缩短乘客平均候梯时间和平均乘梯时间, 降低电梯运行能耗、提高电梯运行

效率和服务质量。综合以上因素, 第 i 部电梯响应第 j 个层站呼梯信号的综合评价函数可采用如下形式^[2]:

$$F(i, j) = w_1 f_w(i, j) + w_2 f_t(i, j) + w_3 f_e(i, j) + w_4 f_n(i, j) \quad (1)$$

式(1)中, $F(i, j)$ 代表第 i 部电梯响应第 j 个层站呼梯信号综合评价函数, 综合评价值最大的电梯为该呼梯信号的响应电梯。 f_w, f_t, f_e, f_n 分别是候梯时间的评价函数、乘梯时间的评价值、能量消耗的评价值和梯内拥挤度的评价值。 w_1, w_2, w_3, w_4 分别是各评价值对应的权重系数, 且 $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ 。对 w_i 的不同选择, 体现了在各种客流交通状况下各因素的不同侧重。如客流高峰时以减少候梯、乘梯时间为主, 可增大 f_w 和 f_t 的权重系数 w_1 和 w_2 ; 在电梯空闲时以减少能量消耗为主, 可增大 F_e 的权重系数 w_3 。

(1) 候梯时间短评价函数 $f_w(i, j)$ 。

$$f_w(i, j) = \begin{cases} 1 & WT(i, j) < 7 \\ e^{-0.002(WT(i, j)-7)^2} & WT(i, j) \geq 7 \end{cases} \quad (2)$$

WT 为候梯时间。

当新的呼梯信号发生时, 根据呼叫发生的楼层 F_c 及方向 D_c 与电梯当前所在楼层 F_0 和方向 D_0 , 可计算电

技术与方法 Technique and Method

梯到达新的呼梯信号所需的时间,即候梯时间。设电梯运行一层的时间为 K_1 , 停靠一层的时间为 K_2 , 电梯需响应的停靠任务为 m , 电梯同向到达的最远楼层为 F_{\max} , 电梯反向到达的最远楼层为 F_{\min} 。

①当 D_c 与 D_0 相同, 且 F_c 在 F_0 前方时, 电梯可同向到达呼梯信号:

$$WT = |F_c - F_0| \times K_1 + m \times K_2$$

②当 D_c 与 D_0 相同, 且 F_c 在 F_0 后方时, 电梯反向运行后再同向到达呼梯信号:

$$WT = (|F_{\max} - F_0| + |F_{\max} - F_{\min}| + |F_c - F_{\min}|) \times K_1 + m \times K_2$$

③当 D_c 与 D_0 相反时, 电梯反向运行后到达呼梯信号:

$$WT = (|F_{\max} - F_0| + |F_{\max} - F_c|) \times K_1 + m \times K_2$$

④当 D_c 与 D_0 相同, 且 $F_c = F_0$, $WT = 0$ 。

(2) 乘梯时间短评价函数 $f(i, j)$

$$f(i, j) = e^{-0.0007RT^2} (i, j) \quad (3)$$

$RT(i, j)$ 为电梯 i 响应第 j 个层站呼梯信号时的乘客乘梯时间。

由于新的呼梯信号发生时, 只能知道乘客的乘梯方向, 不知道乘客的目的层。文中假设乘客的目的层为最远层, 则乘梯时间计算式为:

$$RT = |F_{\max} - F_0| \times K_1 + m \times K_2$$

(3) 能量消耗小评价函数 $f_e(i, j)$

$$f_e(i, j) = e^{-0.013n^2(t)} \quad (4)$$

式(4)中, $n(t)$ 为电梯启停次数(电梯能量消耗)。电梯直线运行的能耗远远小于电梯加、减速时的能耗, 所以电梯的能量消耗主要取决于电梯的启停次数。

(4) 电梯拥挤度小评价函数 $f_n(i, j)$

$$f_n(i, j) = e^{-0.015N^2(t)} \quad (5)$$

式(5)中, $N(t)$ 为第 i 台电梯轿厢内的人数。电梯拥挤度可用轿厢内人数多少来描述, 虽然轿厢内人数无法精确计算, 但可通过轿厢内部的压力传感器所测值估算得到。

2 粒子群优化算法

2.1 基本粒子群算法

粒子群优化算法 PSO (Particle Swarm Optimization) 主要是通过每个粒子当前的状态和在飞行过程中所经历过的最好位置, 以及整个群体所经历过的最好位置来计算粒子下一步运动的方向和速度^[3-4]。其速度和位置的更新公式如下:

$$V_{id} = W \times V_{id} + c_1 \times r_1 (P_{id} - X_{id}) + c_2 \times r_2 (P_{gd} - X_{id}) \quad (6)$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id} \quad (7)$$

式(6)、(7)中: $d=1, 2, \dots, D$, D 代表第 d 维搜索空间;

$i=1, 2, \dots, m$, m 是该群体中粒子的总数;

V_{id} 为迭代粒子 i 飞行速度矢量的第 d 维分量;

P_{id} 为粒子 i 个体最好位置 pbest 的第 d 维分量;

P_{gd} 为群体最好位置 gbest 的第 d 维分量;

c_1, c_2 为权重因子;

r_1, r_2 为随机数, 产生 $[0, 1]$ 的随机数;

W 为惯性权重函数。

2.2 多目标粒子群优化算法

多目标优化问题中各个目标之间通过决策变量相互制约, 对其中 1 个目标的优化必须以其他目标为代价。而各个目标的单位又往往不一致, 因此, 很难客观地评价多目标解的优劣性。多目标优化问题的解不是唯一的, 而是存在一个最优解集合, 集合中元素称 Pareto 最优解。多目标优化问题中每一个解都对应一个目标向量, 所谓 Pareto 最优解就是不存在这样的解, 使得其对应的目标向量小于 Pareto 最优解对应的目标向量^[5]。Pareto 最优解集中的元素就所有目标而言是彼此不可比较的。

多目标极小化问题:

$$\min F(X) = \{f_1(X), f_2(X), \dots, f_m(X)\} \quad X \in Z \subset R^n \quad (8)$$

式(8)中, $Z \subset R^n$ 为可行解区域, $E = \{F(X) | X \in R^n\}$ 为目标解向量空间。

定义 1 Pareto 支配 向量 $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ 支配(或非劣于) 向量 $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)$, $\forall i \in (1, 2, \dots, m), u_i \leq v_i \wedge \exists j \in (1, 2, \dots, m)$ 使得 $u_j < v_j$, 记为 $u < v$; 将 u 非劣于 v , 为 $u < v$ ^[4]。

定义 2 Pareto 最优一个 X^* 解为多目标优化问题的 Pareto 最优解, 不存在 $X \in Z$, 使得 $F(X) < F(X^*)$ 。

3 多目标粒子群优化算法在电梯群控系统中应用

3.1 编码

本文的仿真对象为 4 台 16 层电梯, 对每台电梯进行编码, 分别用 1、2、3、4 表示。电梯系统的每个外呼信号用 j 表示, 当电梯系统中有 N 个外呼信号时, 由公式(2)判断, 选择最近的呼梯信号响应。多目标粒子群算法中每个粒子 $X = (x_1, x_2, \dots, x_D)$ 代表一种派梯方案, 粒子的每一维 $x_i (1 \leq i \leq D)$ 代表第 i 部电梯响应第 j 个层站呼梯信号。由于每部电梯的层数为 16 层, 因此粒子每一维均为 $[0, 16]$ 上的 1 个整数。

3.2 适应度计算^[6]

由于每个粒子 X 代表一种派梯方案, 因此将粒子的位置坐标代入式(2)中, 可以直接计算出候梯时间短评价函数 $f_w(i, j)$ 的值。再根据式(3)、(4)、(5)计算乘梯时间短评价函数 $f_r(i, j)$ 、能量消耗小评价函数 $f_e(i, j)$ 和电梯拥挤度小评价函数 $f_n(i, j)$, 因此每个粒子构成的目标向量对应的适应度为 $f_w(i, j) \wedge f_r(i, j) \wedge f_e(i, j) \wedge f_n(i, j)$ 。

3.3 全体最优值和个体最优值的确定

基本粒子群算法转化为多目标粒子群(MOPSO)算法需要解决 2 个关键技术:(1)全体最优值的选择;(2)个体最优值的选择。多目标粒子群算法基于 Pareto 支配关系构造非支配解集合, 采用外部集保存当前找到的非支配

技术与方法 Technique and Method

解集,将支配概念用于更新外部集合,使算法能保持较好的分布性。通过引入半可行域的概念设计选择算子对约束条件进行处理以增加求解精度,应用拥挤制度和禁忌算法来改进全局极值和个体极值的选取方法避免陷入局部非劣最优解,并且提出了随机选择策略分组法,这种非支配集构造方法加快了算法运行效率^[7]。若粒子*i*的当前位置支配其个体极值位置(支配关系是指对每个粒子),则更新其个体极值;若两者为非支配关系,均在可行域或半可行域时,随机选取个体极值。当两者中一个在可行域、另一个在半可行域;或一个在半可行域、另一个在非可行域时,选取前者。当两者均不在非可行域时,求其*d*,*d*小值为个体极值。

3.4 算法流程

多目标粒子群算法实现步骤如下:

- (1) 群体初始化,给定多目标粒子群算法的控制参数、群体规模、迭代次数并输入待优化的参数。
- (2) 根据多目标电梯模型计算每个粒子所代表派梯方案的4个目标值 $f_n(i,j)$ 、 $f_c(i,j)$ 、 $f_e(i,j)$ 、 $f_d(i,j)$ 。
- (3) 根据 Pareto 最优概念更新每个粒子的个体最优值。
- (4) 更新外部集,将群体的非支配集按 ε 支配关系插入外部集(外部集保存的是算法每代运行的最好结果。在算法迭代运算完成后,外部集中的所有粒子就是算法最后得到的结果)。

更新全局极值,利用拥挤机制和禁忌算法在外部集中随机选择1粒子作为粒子*i*的全局极值。

- (5) 根据公式(6)、(7)更新每个粒子的速度和位置。
- (6) 判断最大迭代次数是否达到。若达到,则输出;否则,转到(2)直至满足终止条件退出。

3.5 仿真实验

仿真环境参数设置:电梯数为4部,服务楼层区为1~16层,楼层高度为3.0 m,各层人数100,电梯额定速度和额定加速度分别为3 m/s和1.5 m/s,电梯容量为15人,开、关门时间为4 s,平均每位乘客转移时间为1 s,额定载重为1 000 kg。以5 min为单位,当客流强度分别为40人/5 min、60人/5 min、80人/5 min、100人/5 min时,对平均候梯时间*AWT*(s)、平均乘梯时间*ART*(s)、电

表1 仿真结果

	40人/5min	60人/5min	80人/5min	100人/5min
<i>AWT</i> /s	17.8	30.11	12.15	18.02
<i>ART</i> /s	21.10	30.26	58.37	62.98
<i>E</i> /(次/5min)	75	69	78	89
<i>N</i> /%	1.42	3.18	7.96	8.13

梯平均启停次数(能量消耗)*E*(次/5min)和拥挤度*N*(%)进行统计,仿真结果如表1所示。从仿真结果可以看出,利用多目标粒子群优化算法求解的过程中,为了满足电梯的服务要求,由于受加权系数的影响,对平均候梯时间和电梯平均启停次数(能量消耗)*E*的优化,随客流强度的增大,但不是绝对增加的^[8]。

利用多目标粒子群优化算法,以候梯时间、乘梯时间、能源消耗和拥挤度作为呼梯信号的综合评价指标,提出了一种能优化电梯群控系统的优化派梯方案。通过对仿真环境下得到的实验数据进行分析统计,表明此方法能够实现优化派梯,达到系统节能的目的,在实际应用中是有效可行的。

参考文献

- [1] 朱德文,杨祯山,张筠莉.智能控制电梯工程系统[M].北京:中国电力出版社,2007.
- [2] 陆星宇,何鹏,唱江华.基于模糊神经网络的电梯群控系统调度方法研究[J].计算机技术与发展,2008,1(1).
- [3] SHEN Y R. Far-infrared generation by optical mixing[J]. Progress in Quantum Electronics,2000,4(3).
- [4] 纪震,廖惠连,吴青华.粒子群算法及应用[M].北京:科学出版社,2009.
- [5] 解可新,韩健,林友联.最优化方法[M].天津:天津大学出版社,2004.
- [6] 周刘喜,张兴华,李纬.基于多目标粒子群优化算法的输电网规划[J].南京工业大学学报(自然科学版),2008,9(5).
- [7] 刘秀菊,刘风格,张秀爱.改进多目标粒子群优化算法在营养配餐中应用[J].船海工程,2009,4(2).
- [8] 宗群,童玲,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).

(收稿日期:2009-08-11)