

基于粒子群算法的智能电梯群控系统调度

李 莉¹ 李洪奇¹ 王 超² 孙晶莹³ 崔 刚⁴

(中国石油大学(北京)计算机系 北京 102249)¹ (北京国际环宇空间技术有限公司 北京 100190)²
(中国石油辽河油田勘探开发研究院 盘锦 124010)³ (中国石油辽河油田公司人事处 盘锦 124010)⁴

摘 要 电梯群控系统(Elevator Group Control System, EGCS)调度是一个多输入、多输出的复杂优化问题,属于 NP 难问题。为解决 EGCS 调度优化,提出了一种基于粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)的电梯调度策略。算法中,每个粒子代表一种派梯方案,系统首先随机初始化若干解,然后以候梯时间最短、乘梯时间最少、电梯能耗最低为主控目标,来实现电梯群控系统的调度优化。仿真对比结果表明了算法的有效性。

关键词 粒子群算法,电梯群控系统,调度方法,多目标优化

中图分类号 TP312 文献标识码 A

Research on Intelligent Optimal Dispatching Method in Elevator Group Control Systems Based of PSO

LI Li¹ LI Hong-qi¹ WANG Chao² SUN Jing-ying³ CUI Gang⁴

(Department of Computer Science and Technology, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)¹

(Beijing UCAS Space Technology Co. Ltd, Beijing 100190, China)²

(Development Research Institute of Petrochina Liaohe Oilfield Company, Panjin 124010, China)³

(Petrochina Liaohe Oilfield Company Human Resources Department, Panjin 124010, China)⁴

Abstract The dispatching method of elevator group control System (EGCS) is a complicated optimization problem with multi-input and multi-output and it belongs to NP hard question. In order to solve the dispatching method of EGCS, a new strategy is proposed based of particle swarm optimization in this paper. Each particle stands for a dispatching scheme. Some solutions will be initialized at first, then the dispatching method is optimized in the direction of the shortest average passenger waiting time, ride time and the consumption of elevator energy. The comparative simulation results show the effective of this algorithm.

Keywords Particle swarm optimization, Elevator group control system, Dispatching method, Multi-objective optimization

1 引言

随着高层楼宇的大量涌现,电梯系统的服务质量和效率对建筑的有效利用和性能发挥将产生极为重要的影响。为提高服务质量和效率,电梯控制技术由单台电梯的独立控制发展到多台电梯的协调控制,即电梯群控系统(Elevator Group Control System, EGCS)。EGCS 是一个多输入、多输出的复杂系统,其复杂性表现在电梯群控系统的多目标性、非线性、扰动性和信息的不完备性,EGCS 的核心是调度方法。随着人工智能理论的蓬勃发展,目前已产生了多种智能电梯调度方法,如基于模糊控制^[1,2]、神经网络^[3]、专家系统^[4]、遗传算法^[5,6]等,并收到了一定的效果。但这些方法也存在不足之处,如神经网络控制存在网络自身结构难以确定、参数训练复杂、实际使用困难等问题;遗传算法存在收敛效率低、易早熟等缺点。因此,寻求高效的智能电梯调度方法仍然是亟待解决的问题。粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization,

PSO)^[7]是一种基于群集智能的全局随机优化算法,由于其不要求被优化函数具有可微、可导、连续等性质,收敛速度快,算法简单且容易编程实现,因此,PSO 算法在许多优化问题中已得到了成功应用^[8]。然而利用 PSO 算法实现智能电梯群控系统调度鲜有人研究,鉴于此,本项目利用 PSO 算法,以候梯、乘梯时间最短、电梯能耗最低为主控目标,设计一种基于 PSO 的电梯群控调度系统。

本文首先在第 2 节简单介绍电梯群控系统的原理;在第 3 节详细阐述基于 PSO 算法的电梯智能群控系统的实现;第 4 节给出对比试验结果;最后对全文工作进行总结。

2 电梯群控系统(EGCS)

EGCS 是一个相当复杂的逻辑控制系统,系统要求在极短的时间内对几百个信号进行检测、处理。在电梯配置已定的情况下,采用何种调度方法对电梯系统的性能影响很大。从服务质量角度来说,人们总是希望候梯时间和乘梯时间的

本文受国家 863 计划(2009AA062802),地球探测与信息技术北京市重点实验室资助。

李 莉(1971—),女,博士,讲师,主要研究方向为计算智能、群智能、数据挖掘, E-mail: uplily@hotmail.com;李洪奇(1960—),男,博士,教授,主要研究方向为智能信息处理和资源软件工程。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

总和越短越好;从节约能耗角度来说,要求电梯避免空驶,减少起停次数。

根据以上特点,电梯群控系统的目的就是得到一种派梯方案,使其最好满足多个控制目标的要求。比如一座大楼提供 M 个电梯服务,某时刻有 L 个不同的呼梯信号,要把这 L 个呼梯信号分派给 M 个电梯。所谓一个派梯方案,就是把 L 个呼梯信号分派给 M 个电梯的一种方法。每个呼梯信号只有一个电梯进行服务,那么此时所有的派梯方案就有 L^M 个,系统的状态空间非常庞大。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,因此电梯群控系统的调度问题属于 NP 难问题^[9]。EGCS 调度就是要在其中找到一种分派方案,使得这个分配方案很好地满足平均候梯时间、长候梯率、系统平均能耗、平均乘梯时间都尽可能短等目标。寻求派梯方案过程中对这多个目标进行优化,实现电梯的多目标优化调度。所以电梯群控问题就是多目标优化问题。本文主要以候梯时间短、乘梯时间短、系统能耗率低为优化目标,寻求最优派梯方案。

3 基于 PSO 算法的 EGCS 实现

Kennedy 和 Eberhart 受鸟群觅食行为的启发,于 1995 年提出了一种基于种群的随机搜索优化算法:粒子群优化算法(Particles Swarm Optimization, PSO)。PSO 算法通过粒子群中个体的合作与竞争实现优化问题的求解。种群中的每个个体称作是粒子(particle),每个粒子代表待优化问题的一个可能解。

PSO 算法首先初始化一群随机粒子(初始解),然后进化(迭代)找到最优解。每个粒子通过跟踪两个“极值”来更新自己,一个极值是粒子本身找到的最优解,这个位置被称为个体极值 $pBest$;另一个极值是整个粒子群所找到的最优位置,通常被称作全局极值 $gBest$ 。PSO 算法的数学描述为:

设在一个 n 维的搜索空间中,由 m 个粒子组成的种群 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}^T$,其中第 i 个粒子位置为 $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}^T$,速度为 $v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}^T$ 。它的个体极值为 $p_i = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in}\}^T$,全局极值为 $p_g = \{p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gn}\}^T$,按照追随当前最优粒子的原理,第 i 个粒子将按照式(1)、式(2)更新自己的速度和位置:

$$v_{id}^{t+1} = v_{id}^t + c_1 R_1 (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 R_2 (p_{gd}^t - x_{id}^t) \quad (1)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1} \quad (2)$$

式中, $d=1, 2, \dots, n$, $i=1, 2, \dots, m$, n 为搜索空间维数(待优化的变量个数), m 为种群规模; t 为当前进化代数; c_1, c_2 表示正的加速常数(acceleration constants); R_1, R_2 表示 0 与 1 之间的均匀分布随机数; p_{id}^t 表示第 i 个粒子在第 t 代发现的局部最优解; p_{gd}^t 表示整个种群在第 t 代发现的全局最优解。

用 PSO 算法进行电梯群控系统优化时,每个粒子代表一种派梯方案,粒子的维数取决于当前正在处理的呼梯信号数。算法首先随机地为每个呼梯信号分配一个电梯,根据目标优化函数计算粒子的适应度值,再按照适应度值的好坏挑选出个体极值和全局最优解,实现过程如图 1 所示。系统首先采集各层的呼梯信号(包括楼层信息与上、下行信息)和电梯的状态信息,然后随机产生初始种群,即派梯方案,根据适应度

的评价准则计算各个派梯方案的适应度值,选出局部最优解与全局最优解,如果满足终止条件则运行结束,按照派梯方案对电梯进行调度,否则粒子更新,进行下一次迭代。用 PSO 算法实现智能电梯群控系统的调度涉及如下关键技术。

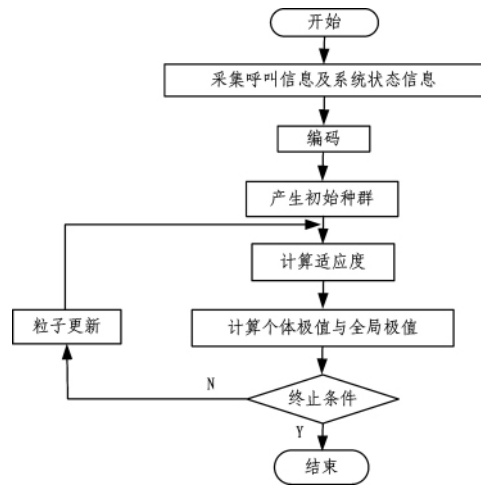


图 1 基于 PSO 的 EGCS 实现流程图

1. 客流模型

电梯群控系统是一种随机服务的排队系统,其服务对象即乘客,服务台就是电梯。研究表明,电梯群控系统中乘客到达过程为平稳的泊松(Poisson)过程,即

$$P\{\text{在时间 } T \text{ 内到达 } n \text{ 个乘客}\} = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \quad (3)$$

式中, λ 为乘客到达率(单位时间内平均到达的乘客数), T 为时间长度。

则乘客到达的时间间隔时间 τ 服从参数为 λ 的负指数分布,即

$$p(\tau < t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

用以下递推公式得到乘客的到达时间:

$$\begin{cases} t_p(0) = 0, t \geq 0 \\ t_p(i) = t_p(i-1) + \frac{\ln r}{\lambda} \end{cases} \quad (5)$$

2. 粒子编码

PSO 算法中,粒子代表待求解问题的解。因此,用 PSO 实现电梯群控系统的调度,每个粒子代表一种派梯方案。粒子中的每一维代表一个呼梯任务,其取值表示为这个呼梯任务服务的电梯号。例如当前有 8 个呼梯信号,则粒子的维数为 8,粒子“13223142”表示 1 号电梯响应 1 号、6 号呼梯信号;2 号电梯响应 3 号、4 号、8 号呼梯信号;3 号电梯响应 2 号、5 号呼梯信号;4 号电梯响应 7 号呼梯信号。在每次寻找最优分配方案时,粒子的维数随呼梯信号数的变化而变化。初始时,随机地为每个呼梯信号派遣电梯。

3. 适应度函数的设计

适应度函数是用来评价一个粒子(解)优劣的准则,本文以平均候梯时间、平均乘梯时间以及平均能耗作为电梯调度的主控指标。

粒子的适应度值依赖于电梯的状态。在任意时刻都能找到电梯的 4 个峰值,分别用 P_1, P_2, P_3 和 P_4 表示,如图 2 所示。

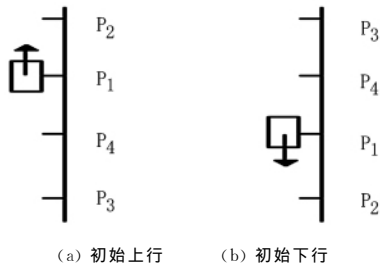


图2 电梯响应某服务的运行路线

其中:

- P_1 :表示当前电梯所在的楼层;
- P_2 :指在运行方向上的最远层;
- P_3 :在运行反方向上的最远层;
- P_4 :呼叫楼层。

(1) 平均候梯时间

当电梯处于停止或上升状态时,如图2(a)所示,平均候梯时间为:

$$T_{li} = ((P_2 - P_1) + (P_2 - P_3) + (P_4 - P_3)) \times t + NS_i \times TS$$

当电梯处于下降状态时,如图2(b)所示,平均候梯时间为:

$$T_{li} = ((P_1 - P_2) + (P_3 - P_2) + (P_3 - P_4)) \times t + NS_i \times TS$$

式中, $i \in (1, n_1)$, n_1 为1号电梯服务队列的长度; t 表示电梯运行一层需要的时间; NS_i 指当前楼层到第*i*个呼叫楼层间的停靠次数; TS 指平均停靠时间。

平均候梯时间为:

$$ATOM = \sum_{j=1}^{N_{T_1}} \sum_{i=1}^{n_i} T_{ji} / \sum_{i=1}^{n_i} n_i \quad (6)$$

式中, N_{T_1} 为电梯数, n_i 为*i*号电梯的响应服务的个数。

根据电梯服务系统动态多变的特点,前一时刻的最优路径在一个新呼叫产生或一次停梯后有较大可能变为非最优解。在电梯运行过程中有新的呼叫产生,PSO算法将重新启动,服务队列将重新分配,队列中靠后的服务在当前最优路径中将得不到响应。

(2) 平均乘梯时间

由于尚未上梯乘客的目的层不可确定,因此这里的平均乘梯时间针对此刻已有梯内呼叫而言,以与求平均候梯时间类似的方法可求得平均乘梯时间 $ATIM$ 。 $ATIM$ 标准化量 $\mu ATIM$ 定义为:

$$\mu ATIM = e^{-0.00077 ATIM^2} \quad (7)$$

(3) 平均能耗

由于电梯速度直线运行时的能耗远远小于加、减速时的能耗,因此电梯的能量损耗 $EW(i)$ 基本取决于电梯的启停次数。 EW 为所有电梯完成任务的能量损耗之和。计算公式为:

$$EW = \sum_{i=1}^{N_{T_1}} EW(i) = \sum_{i=1}^{N_{T_1}} n_i \quad (8)$$

EW 标准化量 μEW 定义为:

$$\mu EW = e^{-0.015 EW^2} \quad (9)$$

本文采用线性加权法构造适应度函数,以此评估派梯方案的优劣:

$$F_k = \omega_1 \times uATIW + \omega_2 \times uATOW + \omega_3 \times uEW \quad (10)$$

式中, $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$, $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 分别为 $uATIW, uATOW, uEW$ 的加权系数。

4 实例验证

PSO 算法的程序运行参数分别取为:最大运行代数 500;种群规模为 10; $w=0.729$; $c_1=c_2=1.49445$ 。权重系数 ω_1, ω_2 和 ω_3 分别取值为 0.4、0.4 和 0.2。

下面就几种建筑物参数及电梯配置情况下,分别对粒子群优化算法、最小等待时间、传统的遗传算法(GA)、改进的遗传算法群控调度方法进行了对比试验。根据仿真结果对各种群控算法的运行结果进行对比,仿真结果如下。

4.1 测试数据 1

建筑物参数和电梯配置参数如下:

建筑物楼层数:8层;楼层高度:3m;电梯数:4台;电梯容量:13人;电梯额定速度:2m/s;加速度:1.5m/s²;加加速度:1.5m/s³;开、关门时间:3s;乘客到达率:0.2人/s;客流产生时间:240s。

仿真结果如表1所列。

表1 测试数据1的EGCS调度结果

	PSO	最小等待时间	标准 GA	改进 GA
平均候梯时间	13.14	13.27	17.30	15.40
平均乘梯时间	11.01	19.59	17.72	16.10
长候梯率(%)	0	3.43	4.86	3.86

从仿真运行结果数据来看,4种调度方法都能较好地满足电梯服务性能的要求,基于 PSO 算法的电梯调度取得了更好的效果,大大地减少了候梯时间、平均乘梯时间,尤其是长候梯率降为 0。

4.2 测试数据 2

建筑物参数和电梯配置参数如下:

建筑物楼层数:16层;楼层高度:3m;电梯数:4台;电梯容量:13人;电梯额定速度:3m/s;加速度:1.5m/s²;加加速度:1.5m/s³;开、关门时间:3s;乘客到达率:0.2人/s;客流产生时间:240s。

仿真结果如表2所列。

表2 数据2的EGCS调度结果

	PSO	最小等待时间	标准 GA	改进 GA
平均候梯时间	15.05	23.56	20.37	18.40
平均乘梯时间	14.31	31.98	25.84	20.70
长候梯率(%)	0	8.27	6.73	4.65

从仿真对比结果可以得出:基于 PSO 算法分配的调度效果最好,不仅平均候梯时间、平均乘梯时间小于其它调度方法,而且长候梯率为 0,远远低于其它调度方法。

4.3 测试数据 3

建筑物参数和电梯配置参数如下:

建筑物楼层数:24层;楼层高度:3m;电梯数:4台;电梯容量:13人;电梯额定速度:3.5m/s;加速度:1m/s²;加加速度:2.0m/s³;开、关门时间:3s;乘客到达率:0.4人/s;客流产生时间:120s。

仿真结果如表3所列,从仿真运行结果数据可以得出:在各种调度方法中,基于 PSO 的调度方法仍然取得了最好的调度效果。

(下转第 358 页)

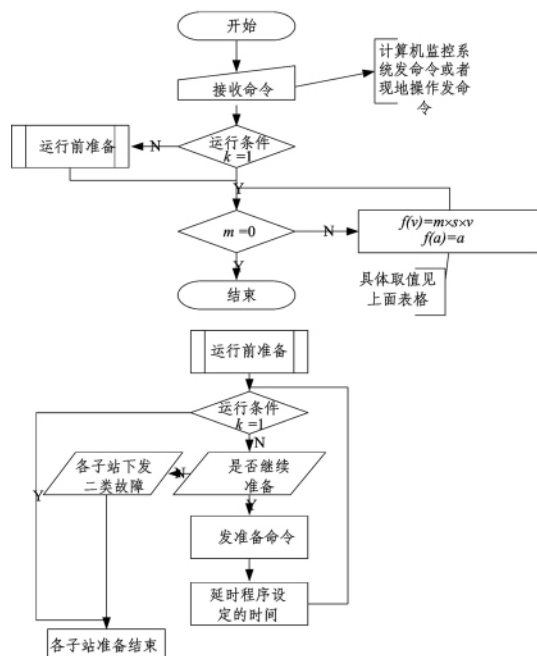


图1 升船机运行流程图

3.4 控制系统实现

在编写程序过程中,升船机运行的速度和加速度不能直接测量,一般采用传动系统采集电机转动速度和加速度间接测量,这种测量速度和加速度的方法有很多弊端,以卷筒转动为研究对象,卷筒的速度和加速度可由绝对值编码器测量卷筒转动,换算出卷筒的速度和加速度。根据升船机运行流程图(见图1)计算机监控系统和现地人机界面发命令(命令内容参见3.1节和3.2节)、现地控制系统程序编写(见3.1节和3.2节)。

结束语 以卷筒转动为参照对象设计升船机控制流程,分别从卷筒转动条件和转动两个方面对升船机运行各种工况进行归类。对转动条件分类汇总并量化,条件具备后,转动过程按照预先定义的速度和加速度进行。控制条件归类汇总并量化后,可减少控制上的相互交叉,简化了控制流程,便于修改和调试。

控制站的通讯状态、辅机系统准备、交通指挥系统引导船舶进闸、制动系统动作和传动系统动作等作为卷筒动作条件,按照这种准备顺序和内容进行运行前准备,有利于理清运行前需准备的内容,快速判断运船前故障。交通指挥系统独立于运船方式(干运、湿运、无船运行),便于简化流程。监控系统发运行命令后,某个环节准备失败,清除命令,后续命令不继续执行,便于停机故障影响降低。运行过程中,以运行命令是否完成作为判断升船机运行的依据,便于对各种不同的工况进行统一设计。

对运行条件进行归类后,运行情况改变,只需找到相应类型,对其条件进行修改,修改方便,从而使功能变更引起的其它连锁反应可能性降低。

参考文献

- [1] 张生权,董博文.丹江口加高工程升船机拖动控制系统设计研究[J].人民长江,1998(3)
- [2] 张勋铭,田泳源,杨逢尧.丹江口枢纽升船机设计与运行分析[J].人民长江,1998(S1)
- [3] 张英.三峡升船机控制系统设计和可靠性研究[D].西安:西北工业大学,2006

(上接第333页)

表3 数据3的EGCS调度结果

	PSO	最小等待时间	标准 GA	改进 GA
平均候梯时间	28.78	27.87	22.14	20.27
平均乘梯时间	19.07	39.78	25.81	23.02
长候梯率(%)	5.41	11.62	4.84	4.61

试验结果表明:当楼层不高时,各种调度方法都能较好地满足电梯服务性能的要求;随着楼层数的增加,PSO算法显示了越来越多的优势,能取得很好的效果。

结束语 EGCS是一类复杂的派梯优化决策问题。大楼里,乘客的到达层站和所去的目标层站具有很强的随机性,这种随机性严重影响着系统的状态改变,增加了群控系统调度决策的难度。随着系统中电梯数量和停靠层站的增加,以及多目标决策因素的增加,派梯的调度策略属于NP难问题。针对此问题,许多研究学者开展了大量的研究工作。本文提出了基于PSO算法的电梯群控系统调度优化,以候梯时间最短、乘梯时间最少、电梯能耗最低为主控目标,实现电梯群控系统的调度,并与最小等待时间、标准遗传算法、改进的遗传算法等其它智能优化方法进行了对比研究。对比仿真结果表明,本文提出的方法收到了很好的效果,为电梯群控系统的优化调度决策提供了一种新的智能工具。

参考文献

- [1] Ho M,Robertson B. Elevator Group Supervisory Control Using Fuzzy Logic[C]//Proc of Canadian Conf on Electrical and Computer Engineering. Halifax,1994:825-828
- [2] Shiro H. New Elevator Group-Control Method for Uppeak Periods [J]. Int J of Systems Science,2003,4(34):309
- [3] So A T P, Liu S K. An Overall Review of Advanced Elevator Technologies [J]. Elevator World,1996,44(6):96
- [4] Clark G G, Mehta P, PROW se R. Knowledge-based Elevator Controller[C]//Int Conf on Control. Coventry,1994:21
- [5] Miravete A. Genetics and Intense Vertical Traffic [J]. Elevator World,1999,47(7):1-18
- [6] Lin C H, Fu L C. Petri Net Based Dynamic Scheduling of an Elevator System[C]//Proc of IEEE Int Conf on Robotics and Automation. Minneapolis,1996:192
- [7] Kennedy J, Eberhart R C. Particle Swarm Optimization[R]. Piscataway:Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, NJ:IEEE Press,1995,4:1942
- [8] Parsopoulos K E, Vrahatis M N. Particle Swarm Optimizer in Noisy and Continuously Changing Environments[M]//Hamzaed M H. Artificial Intelligence and Soft Computing Iasted. ACTA Press,2001:289
- [9] Brand M, Nikovski D. Optimal Parking in Group Elevator Control[C]//Proc of the IEEE Int Conf on Robotics and Automation. New Orleans,2004:1002