

基于 Matlab 的早高峰电梯群控调度系统仿真研究

蔡云霄, 张敏良

(上海工程技术大学 机械工程学院, 上海 201600)

摘要: 电梯群控问题是一个具有不确定性和非线性的复杂多目标优化问题, 为了研究此类问题, 在现有的关于对电梯群控系统仿真研究的基础上, 仅针对早高峰时段, 即上午 7: 50 到 9: 10 的这个时间段来进行建模仿真; 在建模的过程中考虑到排队、乘客等待时间及启停次数等问题, 运用 Matlab 进行模拟仿真, 使各关键参数直观的呈现出来, 以便为电梯优化调度方案的提出提供科学且可用的参考数据。

关键词: 电梯群控; 排队问题; Matlab 仿真

Simulation Study of Early Peak Elevator Group Control Scheduling System Based on Matlab

Cai Yunxiao, Zhang Minliang

(School of Mechanical Engineering, Shanghai University of Engineering and Technology, Shanghai 201600, China)

Abstract: Elevator group control problem is a complicated uncertainty and nonlinear multiobjective optimization problems, in order to study this problem, this article will be based on the original elevator dispatching strategy, only for early peak hours, namely during 7: 50-9: 10 for modeling and simulation. In the process of modeling considering the queuing, passengers waiting time, and the problem of start-stop frequency using the Matlab simulation, it is concluded that the optimization scheduling solution elevator, allow passengers to reach purpose floor as far as possible short time and avoid crowded conditions.

Keywords: elevator group control; queuing problem; Matlab simulation

0 引言

电梯是人们日常常见的交通工具, 在具有足够高的可靠性的前提下, 乘客还希望其具有较高的工作效率。对于配置多部电梯的大楼, 需要考虑到各部电梯的调度的问题。电梯群控的调度可以认为是一个组合优化问题, 即动态地将各层楼乘客的服务请求, 在一定调度目标下合理分配到各电梯服务队列中^[1-2]。目前以群控方式调度的电梯日趋普遍, 研究了一些比较优秀的群控算法, 但各自假设条件存在差异, 有些要求有视频识别各层请求的乘客人数, 有的要求将乘客分类等^[3-4], 这就说明, 电梯群控模拟仿真的算法会根据实际情况和各自假设的不同而得出不同的结果, 并没有一个统一论。

Matlab 是由 MathWorks 公司开发的工程技术科学计算软件, 以其强大的计算、绘图功能, 大量可靠高效的算法库(工具箱)以及简洁易操作的编程、图形界面, 深受广大科技计算和设计人员喜爱^[5]。

本文在研究了之前的一些比较优秀的算法的后, 针对于早高峰时客流的特性, 提出了一套模拟仿真模型, 以描述乘客等待时间及大厅中拥挤的情况, 并根据仿真结果提

出合理的解决办法, 提高电梯服务质量。

1 早高峰电梯群控调度模型

本文以楼层数位 F_m 、电梯数为 C_m 的写字楼为例, 对每位乘客进行编号, 假设第 i 号乘客到达时间间隔记为 $between(i)$, 电梯在关门等待 m 秒钟。同时限定每部电梯的乘客最大容量为 n 人。在上午 7: 50 到 9: 10 的这 4 800 秒的时间段里, 对电梯群控系统进行建模^[6]。

1.1 时钟模型

由于本文针对的是早高峰这个时段, 所以仿真模型在时间上限定在 0~4 800 秒之间。关于时钟的表达式:

$$TIME = \sum_{v=2}^i between(v) \quad (1)$$

式中, $between$ 代表第 i 号乘客与 $i-1$ 号乘客之间的到达时间间隔。

研究表明, 电梯交通系统中乘客到达过程为平稳 (Position) 过程, 即:

$$\varphi = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

式中, φ 为 n 个乘客在一个时钟周期 T 内到达乘梯区的概率; λ 为乘客到达率。本文针对早高峰时段, 上行高峰期, 取为 0.627^[7]。

则乘客到达时间间隔 $between$ 服从参数为负指数分布, 即:

收稿日期: 2018-02-26; 修回日期: 2018-03-26。

作者简介: 蔡云霄(1994-), 男, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事机械控制系统仿真方向的研究。

$$P(\textit{between} < t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (3)$$

递推后得到下列公式:

$$\begin{cases} \textit{TIME}(0) = 0 \\ \textit{TIME}(i) = \textit{TIME}(i-1) - \frac{\ln(\gamma)}{\lambda} \end{cases} \quad (4)$$

式中, r 取 0~1 之间的随机数; $\textit{TIME}(i)$ 表示第 i 个乘客到达乘梯区时的时钟显示^[8]。

笔者据上述公式对抵达写字楼的乘客到来时间进行模拟仿真, 犹豫到来时间间隔 $\textit{between}$ 符合负指数分布, 致使很少有乘客的抵达时间间隔超过 15 秒, 从而导致早高峰时段内的乘客过于密集, 不利于后续仿真。在这里, 假设乘客到来时间在 0~30 之间服从参数为 11 的泊松分布。

$$\textit{between} = \textit{poissrnd}(11, 1, \sum i) \quad (5)$$

式中, $\textit{poissrnd}$ 是 Matlab 中生成泊松分布数组的函数; 常数 11 表示所生成的泊松分布数组的参数为 11; $\sum i$ 表示一次模拟仿真过程中, 四部电梯所服务的乘客总数。到来乘客时间间隔数据模拟仿真如图 1 所示。

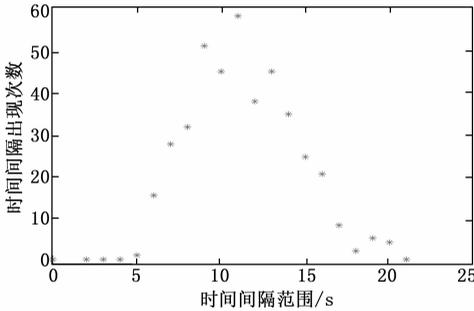


图 1 早高峰电梯群控模型乘客到来时间间隔模拟

由上式可知, \textit{TIME} 并不是随着时间的变化而时刻更新的, 只有等到下一个乘客到来, 时钟 \textit{TIME} 才会更新一次。时钟从第一个乘客到达后才开始计时。

1.2 乘客乘梯模型

当 \textit{TIME} 大于等于电梯返回一层的时间时, 则判断该电梯可以乘用:

$$\textit{TIME} \geq \textit{reto}(j) \quad (6)$$

其中: j 取 1~ C_m , 为 C_m 部电梯的编号。

乘客 i 进入 j 号电梯后, 每一位乘客对应不同的目标楼层 $F(i)$:

$$F(i) = 2 \sim F_m \text{ 间的随机整数} \quad (7)$$

由于是上高峰时期, 所有的乘客都是从一层楼起, 到不同的楼层去, 所以 $F(j)$ 取 2~ F_m 层之间任意整数。

$$\begin{aligned} \textit{sef}(j, F(j)) &= 1 \\ \textit{scf}(j, F(i)) &= \textit{scf}(j, F(j)) + 1 \end{aligned} \quad (8)$$

其中, \textit{sef} 是一个 C_m 行 F_m 列的矩阵, 行代表电梯编号, 列则对应着各个楼层, 记录着每一批次, j 号电梯中乘客所选择的目标楼层。初始值皆为零, 楼层若被选中则赋值一。 \textit{scf} 与 \textit{sef} 一样, 都是一个 C_m 行 F_m 列的矩阵,

记录着每一批次, j 号电梯中乘客选择某个目标楼层的次数。

假设每两层楼之间, 电梯运行时间需要 a 秒, 乘客离开电梯的时间需要 b 秒, 电梯开门和关门的时间各需 c 秒。若从 i 号乘客进入 j 号电梯开始计时, 到达目的楼层所花的时间用 Tof 来表示, 则:

$$\begin{aligned} Tof(i) &= a * N + b * \sum_{v=1}^N \textit{scf}(j, v) + \\ & b + c * \sum_{v=1}^N \textit{sef}(j, 1:N) + c \end{aligned} \quad (9)$$

其中: $N = F(i) - 1$ 。

针对于第二个以及之后到来的乘客, 是否与之前的乘客进入同一部电梯, 有两个先决条件:

$$\begin{aligned} \textit{between}(i) &\leq m \\ \textit{occup}(j) &\leq n \end{aligned} \quad (10)$$

其中: m 为电梯关门前的等待时间, n 为每部电梯的最大容量。

只有在同时满足以上两个条件, 乘客才能踏入同一部电梯。否则, 择其他电梯进入, 或排队候梯。

1.3 乘客排队模型

在所有的电梯都不可乘的情况下进入排队环节。当 $\textit{TIME} < \textit{reto}(j)$ 时, 即是无电梯可乘状态。

电梯返回一层的时间与它所运行的最高楼层有关, 若 j 号电梯运行的最高楼层记为 $\textit{MaxF}(j)$, 而 j 号电梯运行一趟的来回运送时间记为 Tdy , 则:

$$\begin{aligned} Tdy(j) &= 2 * a * (\textit{MaxF}(j) - 1) + b \\ & * \sum_{v=1}^{12} \textit{scf}(j, v) + 2 * c \\ & * \sum_{v=1}^{12} \textit{sef}(j, v) \end{aligned} \quad (11)$$

简言之, Tdy 是来回运送的时间、乘客离开电梯的时间以及电梯开关门时间之和。

电梯 j 的返回时间用 $\textit{reto}(j)$ 表示, 表达式为:

$$\textit{reto}(j) = \textit{TIME} + Tdy(j) \quad (12)$$

此等式中的 \textit{TIME} 表示电梯从第一层开始启动的时间。

若 $\textit{TIME} < \textit{reto}(j)$, 即遍历所有的电梯都处于不可乘的状态。此时, 乘客进入排队等候状态, 等候长度记为 \textit{que} , 计算方式:

$$\textit{que}(dc) = \textit{que}(dc) + 1 \quad (13)$$

式中, dc 用来记录整个事件段内, 总体排队的次数。每次加一后, 时钟显示进行更新, 再次判断时钟与电梯返回时间的大小关系, 若发现存在处于可乘状态的电梯, 则该电梯立即进入运送乘客的状态。否则, 排队继续。

若 $\textit{que}(dc)$, 大于电梯一次所能运送乘客的最大容量 n , 则剩余乘客数作为下一队列对长的初始值。

$$\textit{que}(dc + 1) = \textit{que}(dc) - n \quad (14)$$

乘客 i 在队伍中等待的时间 $\textit{Wtm}(i)$ 可表示为:

$$\textit{Wtm}(i) = \textit{TIME} - \sum_{v=1}^i \textit{between}(v) \quad (15)$$

与上面等式中 \textit{TIME} 的含义不同, 这个等式中的

TIME 则是, 即一次排队终止时的时钟显示。

1.4 建立评价函数模型

对于一个电梯群控系统来说, 评价这个系统的好坏有 6 个指标, 分别是平均乘梯时间、平均候梯时间、长时间候梯率、电梯能耗、电梯运输能力和轿厢的拥挤度^[9]。本文主要针对平均乘梯时间、平均候梯时间和电梯能耗这 3 个评价指标来建立模型。同时, 为了更好的描述大厅内的拥挤情况, 最长的队伍中等待的乘客数将考虑在内, 也就是说队长最大值也是本文描述电梯群控系统的评价指标之一。

平均乘梯时间, 即所有乘客乘梯所花时间之和的平均值, 记为 $AveTof$, 其表达式为:

$$AveTof = \sum Tof / \sum i \quad (16)$$

平均候梯时间, 即从乘客到达排队到排队终止的时间之和的平均值, 记为 $AveWtm$ 表达式为:

$$AveWtm = \sum Wtm / \sum_{v=1}^{dc} que(v) \quad (17)$$

经研究表明, 电梯直线运行时的能量损耗远远小于电梯启动加速度和停靠减速时的能量损耗, 所以电梯的能量损耗主要取决于电梯的启停次数^[10]。

电梯的启停次数可用 sef 来表示, scf 记录了每一批次进入电梯中的乘客所选择的目标楼层, 也就表示这每次电梯运行中需要在那几个楼层停止, 也就表明了每一批次, 电梯所需要启停的次数。将启停次数记为 QT , 则:

$$QT(j) = QT(j) + \sum_{v=1}^{12} sef(j, v) \quad (18)$$

每一批次客运送完后, sef 会进行清零处理, 所以想要计算出 j 号电梯总的启停次数, 只有进行迭代计算。

队长的最大值, 用 $MLque$, 则:

$$MLque = que \text{ 的最大值} \quad (19)$$

通过 $MLque$ 的数值, 可以非常直观的判定大厅的拥挤程度。

2 早高峰电梯群控模型的求解

对于早高峰 4 部电梯 12 层楼的问题的求解, 时钟时间设定在 0~4800, 即 $Fm=12, Cm=4$ 。乘客到达电梯的时间间隔设定为 0~30 秒之间的任意值。电梯在启动运行前会等待 15 秒钟, 即 m 取值 15。电梯的最大可容乘客量为 12, 则 n 为 12。假设两个楼层之间, 电梯平均运行时间需要 10 秒, 而乘客离开电梯的时间需要 3 秒, 开/关门的时间需要 5 秒, 也即是 a 为 10, b 为 3, c 为 5。

在模型建立的过程中, 有如下假设:

- 1) 电梯运行时各参数与上述设定值相符, 不存在异常状况;
- 2) 乘客到来的时间间隔服从泊松分布, 并据时间间隔设定值取其参数为 11;
- 3) 四部电梯初始楼层皆为一层, 且早高峰期间所有乘客皆自一层上行;
- 4) 乘梯时服从先到先乘的原则。即先返回的电梯先行乘用, 先到的乘客先行乘梯, 乘客之间不存在优先权差异。

2.1 电梯群控模型仿真

考虑到一部电梯最多能承载 12 位乘客且开门等待时间为 15 秒钟, 可将之前按泊松分布生成的乘客到来的时间间隔数组分成若干组。先安排前四组作为第一批乘客乘梯, 记录更新后的时钟数值, 计算各部电梯的返回时间、启停次数和第一批各乘客的乘梯时间。依据第一批各电梯的返回时间和对应的时钟数值, 可判断出之后的乘客是否需要排队候梯。若不需要候梯, 则自该乘客起到对应分组最后一位乘客为止, 都进入同一部电梯, 乘客进入乘梯状态, 同样计算并记录以上 4 个数值; 若乘客需要排队, 记录该次排队的对长, 并计算队伍中每位乘客的候梯时间, 之后也进入乘梯状态。程序流程图如下图 2 所示。

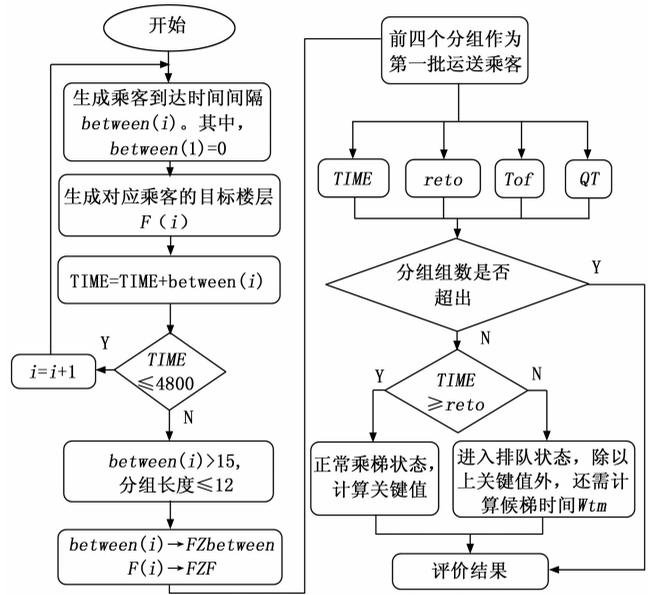


图 2 早高峰电梯群控模型仿真求解算法框图

在第一批次客运送完后, 此后到来的乘客将会面临着排队候梯和即刻乘梯上行这两种状态。当判断出所有的电梯未返回第一层, 即处于不可乘状态时, 乘客将进入排队状态。若判断出存在可乘用电梯, 则排队的乘客终止排队, 即刻进入乘梯上行的状态, 对于刚抵达的乘客, 则即刻上行。排队时应考虑到对长问题, 当电梯返回处于可乘状态时, 保证电梯不会超载; 乘客乘梯时服从先返回底层的电梯先被乘用的原则。程序流程图如图 3 所示。

2.2 模型仿真实现

根据上述流程图, 并结合之前建立的电梯群控调度模型, 运用 Matlab 对多电梯群控系统进行仿真。仿真部分结果如图 4 所示。

图 4 是某一次仿真实验中第一组的乘客到来时间间隔以及对应目标楼层的数据示意图, 时间间隔 $between$ 服从泊松分布, 目标楼层数值则随机在 2~12 中产生。分组依据为上文所提到的两条: 其一, 分组长度不得超过 12; 其二, 乘客到来的时间间隔 $between$ 不得大于 15。程序表示如图 5 所示。

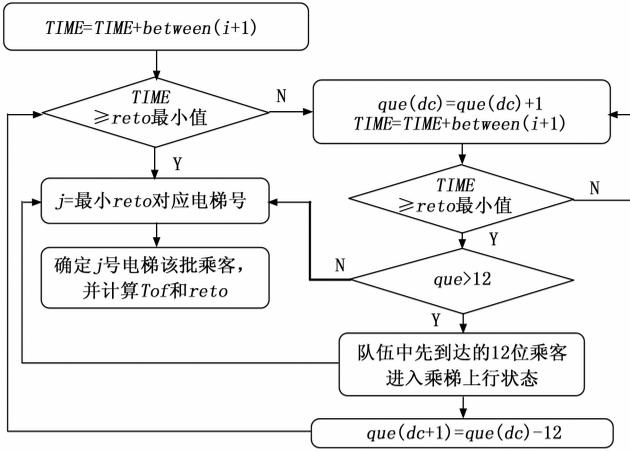


图 3 早高峰电梯群控排队模型仿真求解算法框图

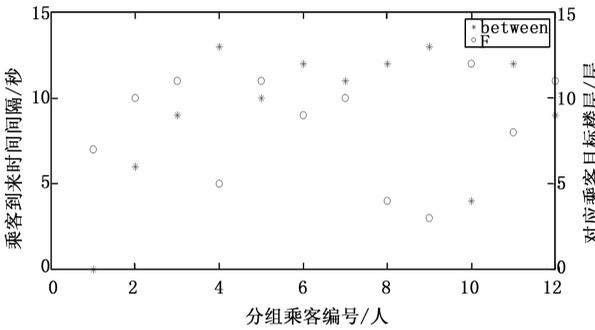


图 4 乘客模拟仿真第一组的时间间隔和目标楼层数据

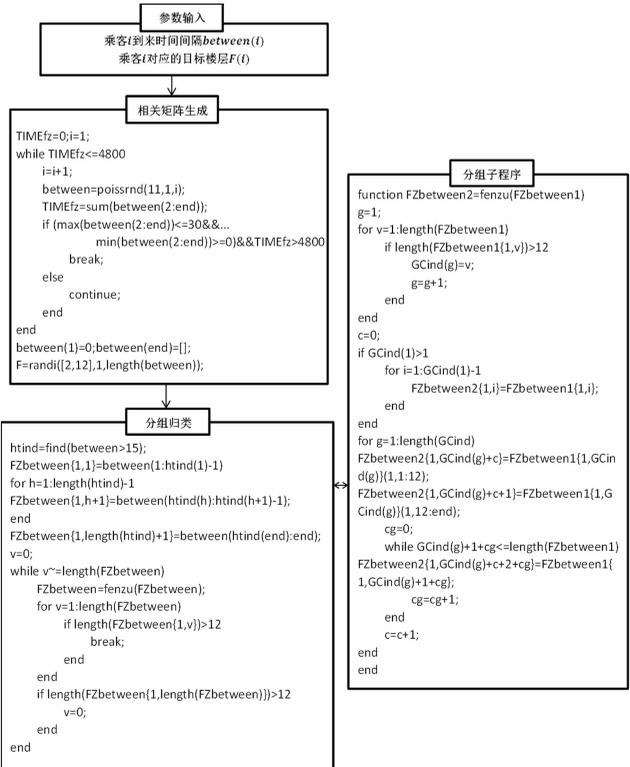


图 5 乘客分组模拟仿真程序实现

若最开始时，四部电梯都处于底层一层，那么，第一批次电梯所运送的乘客即为前四组乘客。每组乘客的人数不会超过乘梯的限载，且每组乘客的到达时间间隔除首位外，不会出现第二个超过 15 秒的乘客，完全符合进入同一部电梯的条件。

第一批次运送完毕后，后续乘客会依据电梯返回时间和其到达时刻时钟显示的大小来判定乘客是进入排队状态还是即刻上行状态。若乘客进入即刻上行的状态，那么其算法和第一批次运送类似；若进入排队状态，则需要另外解决等待时间、队伍长度等问题，所以其算法与之前的相比要复杂许多。

在乘客排队候梯的情况下，由于每部电梯最大的载容量不得超过 12 人，而且每部电梯在第一层的等候时间为 15 秒，所以在排队乘梯的情况之下，一部电梯所承载的人数是由队长和乘客到来时间间隔共同决定的。

若队伍长度大于 12 人，多余的乘客自动进入下一次排队序列，候梯时间累加到下一部电梯返回底层为止。程序表示如下图 6 所示。

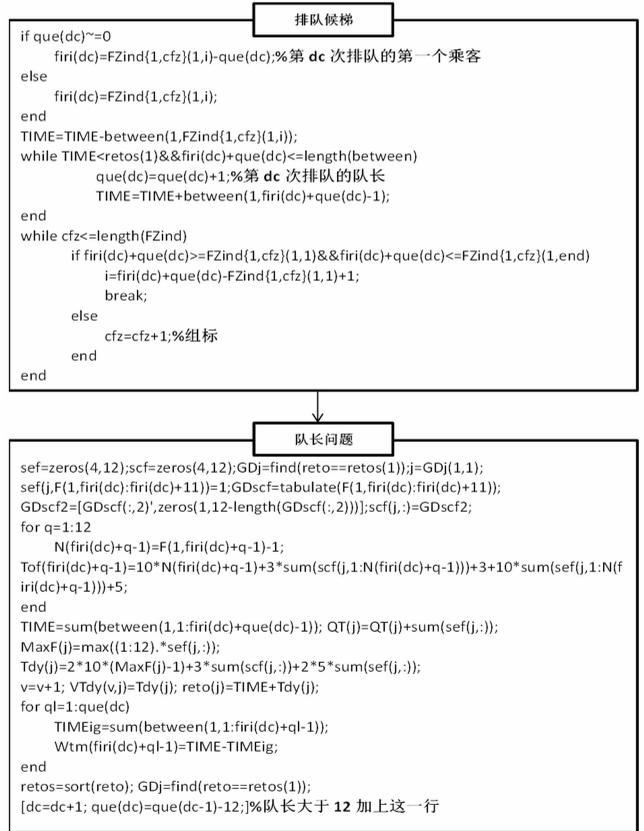


图 6 排队问题模拟仿真程序实现

2.3 模拟结果及理论分析

为了使模拟结果与实际情况最大程度上贴近，做 15 组模拟仿真求取平均值是有必要的。在模拟仿真过程中，需要记录的数据有乘客总人数、乘客乘梯时间、每次排队的队长、排队乘客的候梯时间以及各部电梯的启停次数，如表 1 所示。

表1 15天的电梯群控系统模拟结果

模拟序号	乘客总数/人	平均乘梯时间/秒	最长乘梯时间/秒	平均运送时间/秒	最长队长/人	平均候梯时间/秒	最长候梯时间/秒	每部电梯启停总次数			
								1	2	3	4
1	432	99	231	121	16	22	164	302	428	234	246
2	432	105	225	129	16	24	158	323	206	331	307
3	433	99	218	129	14	30	148	149	260	140	140
4	429	101	231	126	18	25	178	362	234	282	296
5	436	98	241	129	14	31	150	298	126	234	187
6	432	104	231	126	15	22	144	295	445	404	327
7	427	100	231	142	22	41	220	206	261	328	326
8	436	102	231	139	18	37	181	375	148	204	300
9	426	105	231	133	14	28	147	237	191	263	271
10	433	100	231	136	16	36	179	183	92	108	148
11	430	100	221	136	18	36	197	121	153	238	117
12	434	100	228	129	14	30	148	184	160	191	332
13	433	105	238	133	16	28	156	263	279	392	313
14	431	101	221	127	15	26	149	235	174	352	201
15	431	97	241	129	17	32	179	148	118	136	150
均值取整	432	101	230	131	16	30	167	245	218	256	244

表2 15天的各部电梯运行时间占比模拟结果

模拟序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	均值	
电梯运行时间占比(%)	1	88	86	91	84	85	81	85	82	84	88	92	92	87	82	93	87
	2	80	86	82	85	91	77	84	88	87	94	89	86	86	85	83	86
	3	76	75	86	77	86	76	81	82	82	84	84	83	81	75	90	81
	4	79	79	81	79	80	77	82	86	78	88	90	77	83	76	89	82

根据早高峰期间,四部电梯服务的总人次,可以很直观的反映出该电梯群控系统的服务效率;而乘客乘梯时间的平均值、最长乘梯时间、运送时间以及候梯时间这4个数据则可以判断出一个系统是否能够使乘客在接受服务的过程中的体验达标;排队队长可以评判出早高峰期间大厅的拥挤程度;电梯的启停次数以及占比则可以充分的反应出该电梯群控系统的能耗和派梯均衡的问题。

据上表可知,若乘客到来的时间间隔以服从泊松分布来计算,且其范围限定在0~30之间,那么在上午7:50到9:10的这个早高峰的时间段内,一栋拥有四部电梯的12层写字楼的电梯会为432位左右的乘客服务。乘客的平均乘梯时间为101秒,平均候梯时间30秒。通常情况下,乘梯时间超过90秒或候梯时间大于60秒时,都会使乘客变得烦躁,所以这个系统需要通过采取合理的调度方案,在乘客乘梯时间上做进一步优化^[1]。而表中的一些数据则有助于电梯管理者提出对各部电梯合理调度的策略。平均队长为16人,很显然,排队人数稍微偏多,在不算宽裕的候梯区,比较容易让乘客产生拥挤感。由四部电梯各自的启停次数来看,四部电梯各自的派梯数分布得还算均匀。就总体而言,服从先到先乘原则的随机群控调度系统有待优化。

表中的乘客运送时间与乘客乘梯时间所代表的意义不同,乘客的运送时间不仅包括了乘客乘坐电梯的时间,还

要加上排队乘客的排队候梯时间,也就是说,运送时间表示的是从乘客到来的那一刻起到他抵达目标楼层为止的这一段的时间。运送时间能够很直观的反应出电梯群控系统的服务效率。

电梯运行时间占比表示的是整个早高峰时间段内,每一部电梯运行时间占总体时间的比重,如表2所示。

它能反应每部电梯的利用率,电梯管理者能够根据此数据来合理调配各部电梯。管理人员就能根据以少补多的原则对电梯进行合理分配,以提高电梯群的服务效率。

3 结束语

本文通过对电梯群控调度模型的建立并结合 Matlab 软件进行编程模拟仿真,模拟出了乘客候梯时间、乘梯时间以及排队队长等一系列关键参数,为管理者提供了一套具有科学价值的参考数据,并让电梯的管理者能够很直观的辨别出大厅的拥挤程度,对管理者找出减少电梯乘梯区拥挤现象的方法起到了良好的导向作用。

本文在有些问题上的假设可能过于理想化,如电梯开关门时间的设定、乘客到来时间排布、电梯最大载重设定等,与实际情况有所偏差,从而导致模拟仿真出的结果与实际情况有所不符。不过,即便如此,仍不可否认,这些仿真数据所存在着的重要指导意义。

参考文献:

[1] 汪清明, 罗中良. 基于蚁群算法的电梯群控调度优化策略研究 [J]. 计算技术与自动化 [J]. 2009, 28 (2): 42-44.

[2] 李东, 王伟, 邵诚. 电梯群控智能系统与智能控制技术控制与决策 [J]. 2001, 16 (5): 513-517.

[3] 王兴成, 杨冬梅. 基于统计近似的电梯群控系统的智能算法系统仿真学报 [J]. 2001, 13 (Z1): 99-101.

[4] 赵硕, 何鹏, 唱江华. 基于模糊控制的电梯群控系统的研究与设计微计算机信息 [J]. 2006, 22 (13): 51-53.

[5] 高静涛, 史百战. 基于 Matlab 的排队问题仿真武汉工业学院学报 [J]., 2007, 26 (2): 89-92.

[6] 叶其孝, 姜启源. 数学建模 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.

[7] 任宏涛. 电梯群优化控制策略研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.

[8] 陈步荣. 基于改进遗传算法的电梯群控系统及其仿真系统开发 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007.

[9] 罗仁瑜. 电梯群控调度算法测试系统研究 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2015, 4.

[10] 李彦华. 智能电梯群控系统的研究与设计 [D]. 厦门: 厦门大学, 2008.

[11] Pablo Cortés. A viral system algorithm to optimize the car dispatching in elevator group control systems of tall buildings [J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 64 (1): 403-411.

(上接第 96 页)

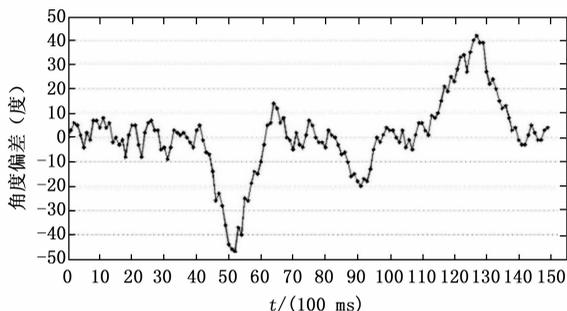


图 9 目标人员角度偏差

由图可知, 在 4 300 ms 左右轮椅开始跟随目标人员右转并避开障碍物 1, 此过程中距离偏差与角度偏差波动最大, 距离偏差最大达到 88 cm, 最小达到 -25 cm, 角度偏差最大达到 -47 度。在 8 300 ms 左右轮椅探测到障碍物 2, 此过程中距离偏差最大达到 67 cm, 角度偏差最大达到 -20 度。在 11 100 ms 左右轮椅跟随目标人员左转, 距离偏差最大达到 44 cm, 角度偏差最大达到 42 度。虽然在这些较特殊情况下偏差波动较大, 但是在产生偏差后轮椅能根据偏差快速进行调整, 距离偏差和角度偏差均能控制在一定范围内。而当目标人员正常前行时距离偏差约在 0~40 cm 之间, 角度偏差约在在 -10~10 度之间, 波动较小, 总体来说跟随效果较好。

5 结束语

介绍了基于模糊控制的轮椅自主跟随与避障系统的硬件平台及控制方法。利用激光扫描雷达和 iBeacon 模块对目标人员和障碍物进行识别定位, 建立模糊控制规则, 将跟随与避障进行综合决策, 控制轮椅的线速度和角速度以实现自主跟随与避障。实验表明轮椅能准确的识别出目标人员和干扰人员, 目标人员与轮椅之间的距离和方向能保证在一定范围内, 跟随效果较好, 同时在跟随过程中能准确避开障碍物。

参考文献:

[1] Wu Bingfei, Chen P Y, Lin C H. A New Criterion of Human

Comfort Assessment for Wheelchair Robots by Q-Learning Based Accompanist Tracking Fuzzy Controller [J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2016, 18 (6): 1-15.

[2] Motokucho T, Oda N. Vision-based human-following control using optical flow field for power assisted wheelchair [A]. IEEE, International Workshop on Advanced Motion Control [C]. IEEE, 2014: 266-271.

[3] Gulalkari, Amruta Vinod, et al. Object Following Controller Design for Four Wheel Independent Steering Automatic Guided Vehicle [J]. AETA 2015: Recent Advances in Electrical Engineering and Related Sciences. Springer International Publishing, 2016.

[4] 蔡磊, 周亭亭, 郭云鹏, 等. 基于超声波定位的智能跟随小车 [J]. 电子测量技术, 2013, 36 (11): 76-79.

[5] 任博雅, 赵白鸽, 李怡蓓. 基于 ZigBee 网络和超声定位的智能跟随小车 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (5): 1789-1791.

[6] Leigh A, Pineau J, Olmedo N, et al. Person tracking and following with 2D laser scanners [A]. IEEE, International Conference on Robotics and Automation [C]. IEEE, 2015: 726-733.

[7] Kai O A, Lau B, Grzonka S, et al. Range-Based People Detection and Tracking for Socially Enabled Service Robots [J]. Springer Tracts in Advanced Robotics, 2012, 76: 235-280.

[8] Lee, Jae Geun, et al. A mobile robot which can follow and lead human by detecting user location and behavior with wearable devices [A]. IEEE International Conference on Consumer Electronics [C]. IEEE, 2016: 209-210.

[9] 吴晓峰. 基于 Kinect 的跟随机器人控制系统设计 [D]. 广州: 华南理工大学, 2016.

[10] 胡迪, 钱松荣. 基于 RSSI 自适应无线定位算法 [J]. 计算机应用与软件, 2014 (9): 139-141.

[11] 何先照. 基于加速度信息的人体步行速度检测方法研究 [D]. 合肥: 安徽理工大学, 2011.

[12] 杨小菊, 张伟, 高宏伟, 等. 基于模糊控制的移动机器人避障研究 [J]. 传感器与微系统, 2017, 36 (3): 51-54.