

Computer Simulation and Optimization Design of Elevator Operation Plan

Maoyi Zhang

School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu
Email: kfzqj@126.com

Received: Nov. 9th, 2018; accepted: Nov. 21st, 2018; published: Nov. 29th, 2018

Abstract

This paper solves the design problem of elevator dispatching scheme in hospital outpatient building by computer simulation. This paper analyzes the following three problems: the use of elevators, the transportation efficiency in rush hours, and the complex elevator dispatching problem. This topic combines MATLAB software, mainly using the computer simulation method. The characteristic of this paper is to simulate the running process of the elevator with greater randomness, which greatly reduces the difficulty of solving the problem. This paper not only evaluates the existing elevator operation scheme, but also gives a better design for the elevator operation management scheme in high-rise commercial building, and provides a theoretical basis for it.

Keywords

Elevator, Dispatching, MATLAB

电梯运行方案的计算机模拟优化设计

张茂仪

中国矿业大学信息与控制工程学院, 江苏 徐州
Email: kfzqj@126.com

收稿日期: 2018年11月9日; 录用日期: 2018年11月21日; 发布日期: 2018年11月29日

摘要

运用计算机模拟等模型解决了医院门诊大楼中的电梯调度方案的设计问题。针对以下的三个问题: 电梯的使用、高峰时期的运载效率、复杂的电梯调度问题进行了分析。结合MATLAB软件, 主要使用了计算机模拟的方法。该文的特点是对随机性较大的电梯运行的过程进行了模拟, 大大降低了问题的求解难度。

文章引用: 张茂仪. 电梯运行方案的计算机模拟优化设计[J]. 建模与仿真, 2018, 7(4): 209-222.

DOI: 10.12677/mos.2018.74025

该文不仅评价了现有的电梯运行方案，还为高层商务楼中的电梯运行管理方案给出较优设计，并为其提供了理论依据。

关键词

电梯，调度，MATLAB

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

医院门诊大楼中的电梯调度方案的设计问题，针对以下的三个问题：电梯的使用、高峰时期的运载效率、复杂的电梯调度问题进行了分析。

第一问题，对于电梯的使用，考虑节约能源和尽力满足客户需求两个角度，确定了以用户平均等待时间，以及停靠次数作为电梯运行调度方案的两个主要指标，并据此建立模糊综合评价模型。其中，结合乘客心里特征以及电梯能耗特点，给出了平均等待时间与停靠次数对于不满意度的具体隶属函数，并考虑医院以效率优先的原则，确定了平均等待时间以及停靠次数两种不满意度的线性重要权重为 0.8 与 0.2 [1]。

第二问题，电梯评价主要参考其高峰时期的运载效率。通过对医院高峰时期的人流分析，假设高分期分流服从 $N(3600,1200)$ 的正态分布，以及每个人去往医院的任意的楼层数服从 1~29 的离散均匀分布。进一步，设计了以计算机仿真进行统计计算每个候选方案平均等待时间和平均停靠次数的整理思路框架，对任意候选方案采取 100 轮次的高峰人流电梯调度仿真。对具体每一轮高峰人流电梯调度仿真，进一步建立了电梯运行流程模型。最终，使用 MATLAB 实现了单次高峰人流调度计算以及整体仿真估计流程，并针对电梯停靠的常用的单双层和高低层一共 7 种方案，进行了 100 次的仿真计算并获得了每个候选方案的平均等待时间和停靠次数，具体结果详见下文 6.3.3。将所得结果代入问题一的模糊综合评价模型中，最终获得不满意度最小的最优调度方案为高低层电梯分配调度方案，其中 A、C 电梯停靠范围 4~17 与 B、D 电梯停靠范围 18~29，其不满意度值最小位为 0.1503。

第三问题，要求结合实际情况，进一步对我们对问题二中的方案作出调整，用于解决更为复杂的电梯调度问题。故考虑在第二问的基础上，进一步考虑来自地下车库的乘客需求，将第二题的候选方案包含兼顾对于地下停靠点的选择。沿用第二问在整体计算流程思路，但是具体每轮的高峰人流由地下车库的需求以随机 0.08 概率产生，并计算考虑每轮电梯作业新增的对运行时间以及每位乘客等待时间的延迟。最后，针对电梯停靠高低层一共 7 种方案，进行了 100 次的仿真计算并获得了每个候选方案的平均等待时间和停靠次数，具体结果详见下文 6.4.2。将所得结果代入问题一的模糊综合评价模型中，最终获得不满意度最小的最优调度方案为高低层电梯分配调度方案，其 A、C 电梯停靠范围-1，-2，4~16 与 B、D 电梯停靠范围-1，-2，17~29，其不满意度值最小为 0.1506。

2. 电梯调度问题提出

作为医院的垂直交通工具，人们对电梯的需求变得越来越复杂。在每天就医人数高峰期，医院电梯是非常拥挤的，医院在要求减少电梯设备占用建筑物的核心空间的同时，希望电梯交通系统的服务数量

和质量有大幅度提高。因此，如何对现有资源合理利用，缓解电梯的运输压力，缩短病人和医生的等待时间，是医院所必须解决的问题，也是电梯垂直交通系统面临的新的挑战。

徐州市中心医院拟在铜山区新建一个 31 层的门诊大楼，其中含有地下二层(地下二层为停车场，地下一层为药品及医疗器械运送场所)。门诊大楼内部设有四部电梯，编号分别为 A 梯、B 梯、C 梯、D 梯，其中 A 梯、B 梯为无担架病人及家属专用电梯，每个电梯最多载重 1350 千克；C 梯、D 梯为有担架病人及医生专用电梯，每个载重 1000 千克。每个电梯内部有 33 个按钮，其中包括开门按钮、关门按钮和楼层按钮，编号为-2, -1, 1, 2, 3, 4..., 29。电梯外部含有两个按钮，即向上运行按钮和向下运行按钮。建筑顶层与地下二层例外，建筑顶层只设置有向下运行按钮，地下二层只设置有向上运行按钮。电梯开关门完成时间设定为 1 秒。电梯到达每层后上下人的时间设定为 8 秒。电梯从静止开始运行到下一层的时间设置为 2 秒，而运行中通过一层的时间为 1 秒。在凌晨 2:00~4:30 之间，如若没有请求信号，A 梯、B 梯自动停在 16 层，C 梯、D 梯自动停在 6 层。当电梯下到-2, -1 层后，如果没有请求信号，电梯自动回到 1 层。徐州市中心医院的门诊大楼一楼平面图见下图 1:

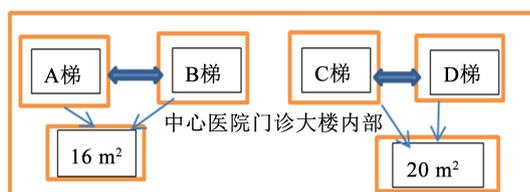


Figure 1. Floor plan of the outpatient building of Xuzhou Central Hospital
图 1. 徐州市中心医院的门诊大楼一楼平面图

请针对徐州市中心医院就医人数高峰期的情况(高峰期需要使用电梯 500~1000 人次)，对电梯调度问题建立数学模型，以期获得合理的优化方案。

问题 1: 给出若干合理的模型评价指标;

问题 2: 针对徐州市中心医院门诊大楼情况给出一个合理的调度方案;

问题 3: 在第二问的基础上，将数学模型进一步实际化，提出合理化的建议和措施，用于解决更为复杂的电梯调度问题。

3. 模型假设

假设 1: 所有乘客乘坐电梯时均遵循先到先乘坐的规则;

假设 2: 普通病人与医生也乘坐 C 梯、D 梯，只是出现有担架病人及医生时，优先让有担架病人及医生乘坐，为简化问题，通常认为有担架病人及医生占总体比重较小，所以由这部分产生的等待时间不计;

假设 3: 假设人均体重为 65 kg，即 A 梯、B 梯最大承载 20 人，C 梯、D 梯最大承载 15 人;

假设 4: 在高峰期，医护员工上班，以及病人就医来到医院的时间整体服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$;

假设 5: 三层及以下楼层的员工上下楼忙时走楼梯，闲时乘电梯；四层及以上楼层的员工上下楼均乘电梯，不走电梯;

假设 6: 客运电梯在 7~9 时上班高峰时上行运行停靠，下行时不在途中停靠;

假设 7: 电梯使用者到达电梯时，通常不会等待未到达的其他乘客过长时间，所以设电梯的整体满载率为 50%;

假设 8: 问题 2 中不考虑地下车库。

4. 符号说明

- T_w : 人均等电梯时间;
 \bar{T}_w : 大规模仿真的平均人均等电梯时间;
 N : 停靠次数;
 \bar{N} : 大规模仿真的平均停靠次数;
 $f_w(T_w)$: 人均等待电梯时间不满意度隶属值;
 $f_N(N)$: 平均停靠次数不满意度隶属值;
 μ : 电梯承载率;
 T_{End} : 该电梯当前批次的最终出发时间, 也就是当前批次最后一个人的到达时间;
 L_{End} : 该电梯当前批次的最大出发楼层, 也就是电梯需要运行的最高位置, 到达后即返回。

5. 概念引入及问题分析

5.1. 概念的引入

分层次运行方式: 每部电梯负责一定的楼层, 只在其负责的楼层和底层停靠, 例如规定电梯负责的楼层是 11~15 层, 则该电梯只能停留于 11~15 层。单双层运行方式: 电梯只在单层或双层停靠, 例如电梯为单层运行, 则该电梯只能在单层(1、3、5...层)停靠。电梯直达某高层以上运行方式: 电梯只能在规定的楼层及其以上的任意楼层停靠, 而不能在规定以下的楼层停靠, 是分层次运行的一种方式。

5.2. 问题分析

对于问题 1, 要求我们给出若干合理的模型评价指标, 对于电梯的使用, 可以考虑节约能源和尽力满足客户需求两个角度来给出电梯运行方案的评价指标。问题 2 要求针对徐州市中心医院门诊大楼情况给出一个合理的调度方案, 可以考虑我们在常用的电梯运行方案中例如单双层停靠与高层停靠等方式中合适的方式, 根据问题的评价指标对其进行评价选择。问题 3 要求在第 2 问的基础上, 将数学模型进一步实际化, 可以进一步考虑电梯运行细节, 楼层使用, 在更为复杂的电梯调度过程中问题, 根据问题一的指标对相应的方案进行选择。

6. 模型的建立与求解

6.1. 模型准备与分析

6.1.1. 电梯停靠方案

高楼建筑常用的电梯停靠方式主要有两种, 分别为单双层与高低层停靠方式, 在本文的医院高楼设定中, ABCD 四部电梯, 可以采用如下表 1 所示的电梯停靠方式。

Table 1. Each elevator parking mode

表 1. 每台电梯停靠方式

运行方式	载运量	单双层方案	高低层方案
电梯 A	1350 千克-20 人	单层停靠	高层停靠
电梯 B	1350 千克-20 人	双层停靠	低层停靠
电梯 C	1000 千克-15 人	单层停靠	高层停靠
电梯 D	1000 千克-15 人	双层停靠	低层停靠

由于在医院中，C 梯、D 梯为有担架病人及医生专用电梯，所以必须满足这两梯覆盖所有楼层的停靠点。同时，剩余电梯为了满足其他乘客的电梯使用也应满足覆盖所有楼层的停靠点。进一步，根据各类电梯的数量，表 1 展示了最为合理的单双层和高低层电梯调度分配方式。

6.1.2. 高峰时刻

对电梯调度方案的优劣，主要在于其高峰时刻调度性能的优劣，为此我们对医院高峰时期人员乘坐电梯的过程进行模拟。我们设定人员到达的时间分布为正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ ，员工到达后，三层及以下楼层的员工走楼梯，四层及以上楼层的员工乘电梯，所有人乘坐电梯时均遵循先到先乘坐的规则。我们结合员实际电梯使用高峰时间分布情况经过试模拟后认为二者的较优取值为： $\mu = 3600$ ， $\sigma = 1200$ 。

由员电梯使用高峰时段人员到达的时间分布(见图 2(a)，其中横轴为时间(单位：秒)，纵轴为人数)可知，该高峰时间为持续两个小时，该过程发生在 7 点至 9 点之间，此时段内医护人员上班以及早晨就医人员大量进入，造成该时段内的电梯使用的高峰。

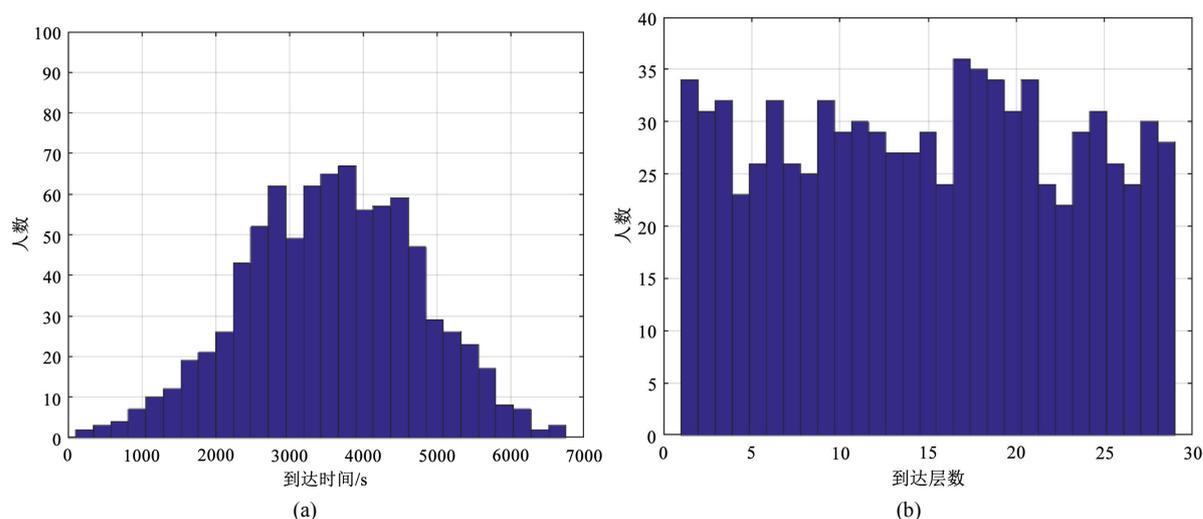


Figure 2. Data distribution: (a) Arrival time distribution map; (b) Map of arrival levels

图 2. 到达数据分布: (a) 到达时刻分布图; (b) 到达层数分布图

对于到达人数，根据题意，高峰期需要使用电梯 500~1000 在本问题中，我们设置高峰使用人数为该区域的中点 750 人，并且所有人员从 1 层前往 1~29 层的数量均匀分布，上图 2(b)给出了所有 750 人在某次高峰时段达到不同医院楼层的人数分布。从上图可以看出，各层停靠需求相对均匀，而实际中若有相关停靠位置分布数据可依据实际分布模拟，此处由于缺少数据，就用均分分布代替。

6.1.3. 电梯运行过程

由于关于电梯的问题类似，所以为了找到比较通用的解决办法，我们决定设计算法以便于对人乘坐电梯的过程进行模拟，得出必要的的数据，最后对电梯的运行方式进行评价。高峰期间内，人员的到来服从对时间的正态分布，人工到来之后在停靠自己所在楼层的电梯前排队，其中不包括 1、2、3 层的员工。在电梯运行一周的过程中，不断的向需要停放人员的楼层停靠直到最高层，电梯运行一周的步骤过程如下：

Step 1: 电梯开门，排在前面的一定数量人依次进入电梯，电梯门关闭，向上行驶；

Step 2: 判断第 i 层是否有人下。若无，则不在第 i 层停靠，电梯驶向第 $i+1$ 层。若有，则电梯在第 i 层停靠，开门，要出人员依次走出电梯，关门。令 $i = i + 1$ ，判断电梯是否达到最高期望楼层，若否向

Step 2 开头，若是则转向 Step 3；

Step 3: 电梯停靠在最高期望楼层，电梯中人员已全部下完，驶向靠在一层。

6.1.4. 方案设计思路

在电梯的调度方案设计中，我们需要在第一问中确定，电梯调度方案的评价指标，并依据评价指标建立起电梯方案的模糊评价模型。在第二和第三问中，我们采用编程实现各种备选方案的调度算法，结合医院电梯和高峰人流实际数据，对每种备选方案仿真 100 次，获得人均等待时间 T_w 和停靠次数的平均值 N ，并代入第一问中确立的模糊评价模型对每个候选方案进行评价，评价结果最优的方案即为我们所选择的医院电梯调度方案。具体的思路流程可以归纳为如下图 3 的思路流程图。

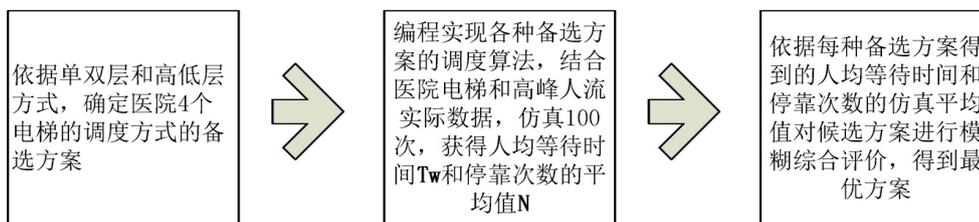


Figure 3. Design flow chart of elevator dispatching plan

图 3. 电梯的调度方案设计思路流程图

6.2. 问题 1——电梯调度方案评价指标

6.2.1. 评价指标

关于电梯评价的两个方面，我们节约能源和尽力满足客户需求两方面出发去寻找。在尽力满足用户需求方面，尤其是在医院这种服务机构内，可以认为是首要需满足的重要指标。对于每个电梯用户而言，尽可能少的等待时间可以被作为最主要的考查标准[2]。

另一方面，在尽可能缩短用户等待方案时间的调度方案下，应该尽可能减少电梯的能耗，在电梯的使用中，如果越是集中目标楼区的人群在一次承运作业中，减少频繁多点的停靠，能够有效的起到节约能源的作用。

综合上述分析，本文选取如下两个指标作为电梯调度方案的评价指标。

$$\text{评价指标} \begin{cases} \text{满足乘客需求:} & \text{平均等待时间} \\ \text{节约能源:} & \text{停靠次数} \end{cases}$$

6.2.2. 电梯调度方案模糊综合评价方法

1) 平均等待指标的隶属化

我们首先处理等待时间。我们定义等待时间取下列值时，不满意度也如下表 2 变化：

Table 2. Dissatisfaction with waiting time

表 2. 关于等待时间的不满意度刻画

不满意度	很满意	满意	较满意	不满意	很不满意
等待时间/秒(\leq)	200	400	600	800	1000

注：当等待时间大于 1000 s 时，可认为员工已经“麻木”，因此态度也是很不满意。

由于人等待的心理时间与现实时间成二次函数，所以为了连续量化指标，我们采取二次函数和对数函数最为隶属函数：

$$f(x) = \begin{cases} a(x+b)^2, & 1 \leq x \leq 3 \\ c \ln x + d, & 3 \leq x \leq 5 \end{cases}$$

其中 a, b, c, d 为待定常数, 且有:

- 当很满意时, 隶属度为 0, 即 $f_w(200) = 0$;
- 当较满意时, 隶属度为 0.8, 即 $f(400) = 0.8$;
- 当很不满意时, 隶属度为 1, 即 $f(1000) = 1$ 。

由于在上述定义中, 自变量与因变量的数量级之比有 1000 倍之多, 拟合出来的参数数量级一定很小, 这往往会造成最终拟合出来的参数会不精确。为了使各类待定常数更加精确, 我们让等待时间的数值缩小 200 倍, 这样减小了它们之间的数量级差距。即 $x' = \frac{x}{200}$ 。因此, 上述隶属函数的定义可以更改为:

$$f(1) = 0, \quad f(3) = 0.8, \quad f(5) = 1。$$

最终求得 $a = 0.2, b = -1, c = 0.3915, d = 0.3699$ 。则

$$f(x) = \begin{cases} 0.2(x-1)^2, & 1 \leq x \leq 3 \\ 0.3915 \ln x + 0.3699, & 3 \leq x \leq 5 \\ 1, & x > 5 \end{cases}$$

该隶属函数的图像如图 4:

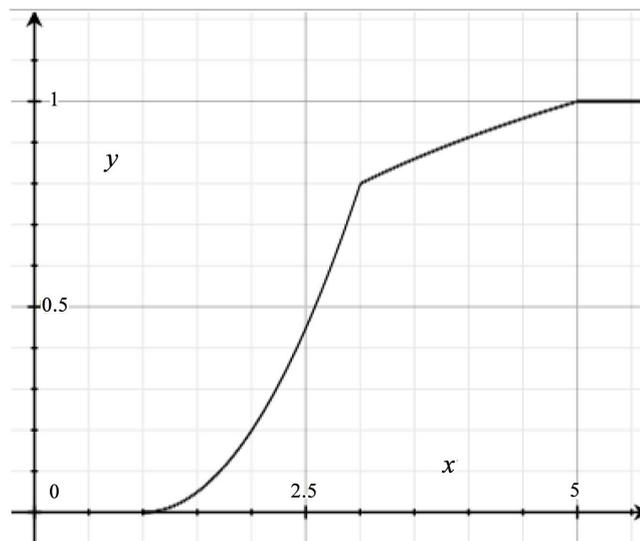


Figure 4. Membership function of per capita waiting time
图 4. 人均等待时间的隶属函数

2) 停靠次数指标的隶属化

关于节约能源方面, 由于能源只和停靠次数有关, 而和人的心理等因素无关, 故可将一次函数作为停靠次数的隶属函数。简单起见, 我们将以上三个指标数值大小做一定的处理, 使其间隔相同, 这样就能取同一个隶属函数。于是, 定义如表 3。

设隶属函数为: $f(x) = ax + b, 0 \leq x \leq 725$, 其中, a, b 为待定常数, 且有:

- 当很满意时, 隶属度为 0, 即 $f(125) = 0$;
- 当很不满意时, 隶属度为 1, 即 $f(725) = 1$ 。

Table 3. Depiction of the dissatisfaction of the number of stops
表 3. 关于停靠次数的不满意度刻画

不满意度	很满意	满意	较满意	不满意	很不满意
停靠次数/次(≤)	125	250	375	500	725

同理我们让等待时间的数值缩小 125 倍，这样减小了它们之间的数量级差距。即 $x' = \frac{x}{125}$ 。因此，上述隶属函数的定义可以更改为： $f(1)=0, f(5)=1$ 。求得 $a=0.25, b=-0.25$ 。则

$$f(x) = \begin{cases} 0.25x - 0.25, & 1 \leq x \leq 5 \\ 1, & x > 5 \end{cases}$$

该隶属函数图像如下图 5:

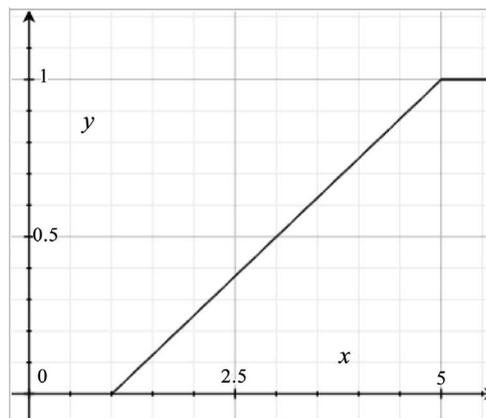


Figure 5. Energy saving membership function
图 5. 节约能源方面的隶属函数

3) 线性加权评价模型

在前面的分析中，我们讨论了人的平均等待时间和停靠次数这两个指标的意义。在对医院电梯调度方案的评价模型中，认为客户需求是相对于节约能源更为重要的，故二设前者的系数为 0.8 而后者的系数为 0.2。

综上所述，该线性加权评价模型可以如下建立，令：

$$f = 0.8 \times f_w(T_w) + 0.2 \times f_N(N)$$

其中，各项指标如下确定：

$$\begin{cases} T_w, N_3 \text{ 分别由计算机模拟数据整理得到} \\ f_w(T_w) = \begin{cases} 0.2 \left(\frac{T_w}{200} - 1 \right)^2, & 200 \leq x \leq 600 \\ 0.3915 \ln \frac{T_w}{200} + 0.3699, & 600 \leq x \leq 1000 \\ 1, & x > 1000 \end{cases} \\ f_N(N) = \begin{cases} 0.25 \frac{N}{125} - 0.25, & 125 \leq T_a \leq 750 \\ 1, & T_a > 750 \end{cases} \end{cases}$$

6.3. 问题 2——电梯调度方案设计

6.3.1. 仿真统计思想

计算机模拟的主要过程是通过计算机随机产生等待人群的信息(包括到达时间、目的楼层等),并通过这些信息来控制电梯的运行,从而更准确地确定电梯运行中的各项指标。

在电梯运行的模型中,有很多具有随机因素的变量,例如:排队人员要到达的楼层数,电梯每一次运行的停靠楼层等。除此之外,每个人的等待时间以及电梯的运行时间都具有不确定因素。因此,为了更准确地评价电梯的两种运行方式,我们将采用模拟的方法对电梯的各种备选方案进行模拟运行,并导出个方案的评价指标诸如平均等待时间 T_w 与停靠次数 N [3]。

由于每个候选方案的每次模拟不可避免均有误差,为使误差最小化,我们每个方案模拟 100 次,然后对 100 次仿真结果的平均等待时间与停靠次数求平均值,即

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^{100} N^i}{100}, \bar{T}_w = \frac{\sum_{i=1}^{100} T_w^i}{100}$$

其中, T_w^i , N^i 分别为某调度方案第 i 次仿真的平均等待时间与停靠次数。整体的仿真思路流程可以归纳为如下图 6。

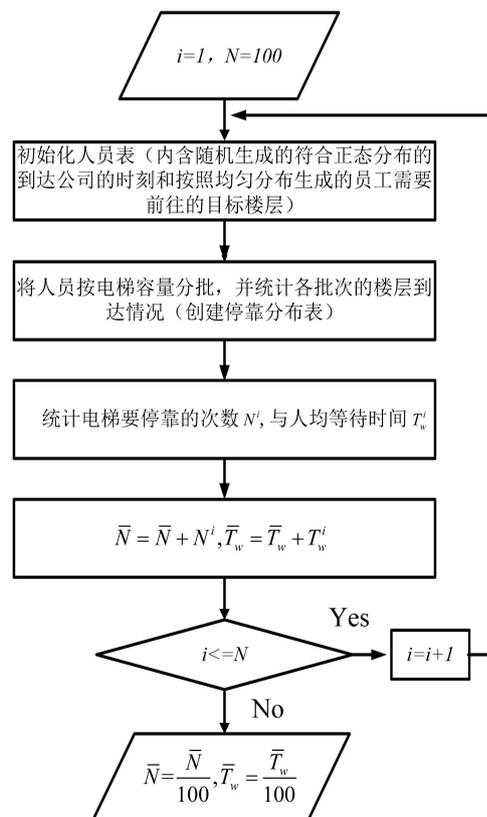


Figure 6. Overall flow chart of simulation and statistical calculation of average waiting time and stopping number
图 6. 平均等待时间与停靠次数仿真统计计算整体流程图

6.3.2. 高峰时期电梯运行流程模型

6.3.1 中我们已经给出平均等待时间 \bar{T}_w 与停靠次数 \bar{N} 仿真统计计算整体流程图,但对每一个仿真方案

的具体每一次仿真的停靠次数 N^i 与平均等待时间 T_w^i 还未给出具体细节的讨论。

在医院的电梯调度中, 我们有具体 4 架电梯, 在我们的备选方案中, 根据 6.1 的分析, 由于医院中 C, D 电梯由于担架病人与医生优先专用的必须覆盖全部停靠点, 同时我们设定了而其余电梯为了更好的服务一般病人也必须覆盖全部的停靠点, 所有以 A、B 电梯也必须覆盖全部的停靠点。所以在设计备选方案时, 可以将 AC 的覆盖方式设置成一样, BD 设置成一样, 另外, 对于高低层调度方案, 尽量考虑电梯负责楼层的均衡, 所以以 14~19 层作为分界点, 设计了 7 调度种方案, 连同单双层停靠方案一起列出如下表 4。

Table 4. Elevator stop candidate scheme
表 4. 电梯停靠候选方案

方案	A 停靠范围(20 人)	C 停靠范围(15 人)	B 电梯停靠范围(20 人)	D 电梯停靠范围(15 人)
1 单双层	1,3,...,29	1,3,...,29	2,4,...,28	2,4,...,28
2 高低层	4~14	4~14	15~29	15~29
3 高低层	4~15	4~15	16~29	16~29
4 高低层	4~16	4~16	17~29	17~29
5 高低层	4~17	4~17	18~29	18~29
6 高低层	4~18	4~18	19~29	19~29
7 高低层	4~19	4~19	20~29	20~29

对于某个承载方案的具体, 在实际运行中, 往往不可能总是满载, 根据时间的设定, 乘客不会等待还没到达电梯的客户太长时间, 为简化过程起见, 我们设定任意一架电梯, 当, 当电梯的承载率到达 μ 时就出发。

对于某个候选方案的某一次仿真, 其停靠次数 N^i 与平均等待时间 T_w^i 计算过程可以罗列如下列步骤:

Step 1: 初始化得到本轮高峰所有 750 个人的到达时刻, 以及每个人的期望到达楼层列表, 并按照到达时间 T 的以及期望到达楼层 L , 按照到达时间的前后排序, 早到在前晚到在后, 并设定 ABCD 电梯的当前可用时间为 $T_a, T_b, T_c, T_d = 0$;

Step 2: 对时间为前 i 位的电梯乘客, 的期望到达楼层 L_i 进行判断其属于 AC 电梯还是 BD 电梯, 所属于 AC 电梯进入 Step 3, 若属于 BD 电梯则进入 Step 4;

Step 3: 若 AC 电梯的当前可用时间 $T_a \leq T_c$, 则当前第当 i 位电梯乘客进入 A 电梯, 此时若 A 电梯达到承载率 $20 \times \mu$ 人则 A 电梯出发, 更新 A 电梯的当前可用时间 T_a , 并计录 A 电梯此次的停靠次数 N_a ; 若 $T_a > T_d$, 则当前第当 i 位电梯乘客进入 C 电梯, 此时若 C 电梯达到承载率 $15 \times \mu$ 人则 C 电梯出发, 更新 C 电梯的当前可用时间 T_c ; 并计录 C 电梯此次的停靠次数 N_c ;

Step 4: 若 BD 电梯的当前可用时间 $T_b \leq T_d$, 则当前第当 i 位电梯乘客进入 B 电梯, 此时若 B 电梯达到承载率 $20 \times \mu$ 人则 B 电梯出发, 更新 B 电梯的当前可用时间 T_b , 并计录 B 电梯此次的停靠次数 N_b ; 若 $T_b > T_d$, 则当前第当 i 位电梯乘客进入 D 电梯, 此时若 D 电梯达到承载率 $15 \times \mu$ 人则 D 电梯出发, 更新 D 电梯的当前可用时间 T_d , 并计录 D 电梯此次的停靠次数 N_d ;

Step 5: 若 $i = i + 1$, 若 $i \leq 750$ 返回 Step 2;

Step 6: 根据 Step 2~4 过程, 对 A, B, C, D 的所有批次运输电梯的每一个人的等待时间, 和每次电梯出发的停靠的次数, 统计算出第 i 伦高峰期间电梯停靠次数 N^i 与平均等待时间 T_w^i 。

在上述的过程, 电梯 ABCD 电梯到达规定运载量后, 其可用更新的规则计算方法如下:

$$Tx = T_{End} + (L_{End} - 1) \times 2 + N \times (8 + 2) + (N + 1)$$

其中 $x \in \{a, b, c, d\}$ ，上式中各项的意义如下

T_{End} ：该电梯当前批次的最终出发时间，也就是当前批次最后一个人的到达时间；

L_{End} ：该电梯当前批次的最大出发楼层，也就是电梯需要运行的最高位置，到达后即返回；

N ：该电梯当前批次的停靠次数。

6.3.3. 模型求解结果

采用 MATLAB 编程实现 6.3.2 中的电梯运行流程模型计算每次模拟人流高峰中电梯人均等待时间与停靠次数，并依据 6.3.1 的仿真框架重复该过程 100 次最后计算得到平均等待时间 \bar{T}_w ，平均停靠次数 \bar{N} ，在该仿真中设定承载率到达 $\mu = 50\%$ ，总人次 750，到达时间服从 $N(3600, 1200)$ 的正态分布，个人期望到达楼层服从 1~29 的离散均匀分布，最终仿真结果，以及代入问题 1 的模糊综合评价模型的方案得分结果如下表 5。

Table 5. Simulation results of candidate solutions

表 5. 候选方案仿真结果

方案	A、C 电梯停靠范围	B、D 电梯停靠范围	平均等待时间 \bar{T}_w /秒	平均停靠次数 \bar{N} /次	不满意度 f
1 单双层	1,3,...,29	2,4,...,28	269.8098	498.4900	0.1689
2 高低层	4~14	15~29	277.5369	494.5100	0.1719
3 高低层	4~15	16~29	244.0215	497.9900	0.1569
4 高低层	4~16	17~29	223.2261	499.3300	0.1519
5 高低层	4~17	18~29	207.8388	500.2100	0.1503
6 高低层	4~18	19~29	220.1424	498.2000	0.1509
7 高低层	4~19	20~29	254.5681	497.5681	0.1609

根据不满意度最小原则，方案 5 高低，A、C 电梯停靠范围 4~17 与 B、D 电梯停靠范围 18~29，其不满意度值最小位，最优方案。下图 7 给出了当前方案下，100 次仿真里所有人的等待时间 - 人数分布图。

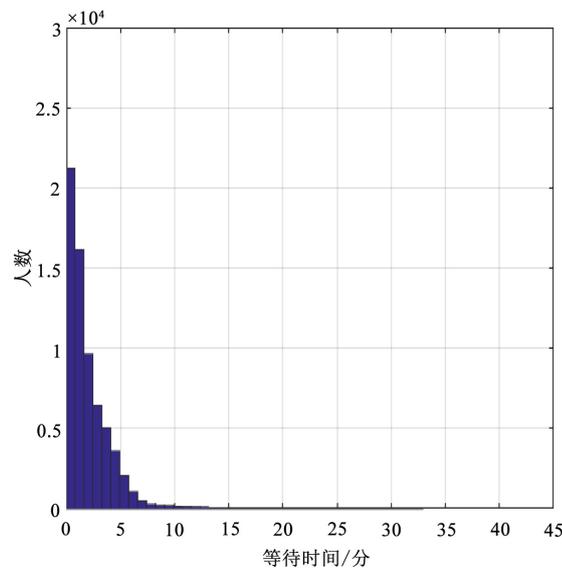


Figure 7. Waiting time-population distribution map

图 7. 等待时间 - 人数分布图

从上面的分布图可以看出，绝大多数的人的等待时间在 4 分钟以内。

6.4. 问题 3——电梯调度方案设计(含地下停车库)

6.4.1. 电梯运行流程模型(含地下停车库)

在问题 3 中，我们考虑含地下停车库情况的，我们重新选择我们的备选方案，如下表 6 所示。

Table 6. Elevator stop candidate scheme

表 6. 电梯停靠候选方案

方案	A 停靠范围(20 人)	C 停靠范围(15 人)	B 电梯停靠范围(20 人)	D 电梯停靠范围(15 人)
1 高低层	-1, -2, 4~14	-1, -2, 4~14	-1, -2, 15~29	-1, -2, 15~29
2 高低层	-1, -2, 4~15	-1, -2, 4~15	-1, -2, 16~29	-1, -2, 16~29
3 高低层	-1, -2, 4~16	-1, -2, 4~16	-1, -2, 17~29	-1, -2, 17~29
4 高低层	-1, -2, 4~17	-1, -2, 4~17	-1, -2, 18~29	-1, -2, 18~29
5 高低层	-1, -2, 4~18	-1, -2, 4~18	-1, -2, 19~29	-1, -2, 19~29
6 高低层	-1, -2, 4~19	-1, -2, 4~19	-1, -2, 20~29	-1, -2, 20~29
7 高低层	-1, -2, 4~20	-1, -2, 4~20	-1, -2, 21~29	-1, -2, 21~29

在新的备选方案中，我们排除了低效的单双层方案，而都用高低层方案进行候选，进而根据计算机模拟仿真的结果寻找高低层方案中最优的电梯停靠分界点。由于从地下车库停车进入医院的乘客，可能去往高层也去可能去往低层。所以，所有方案要兼顾地下一二层的乘客。

对于问题 3 的电梯运行仿真模拟，其大体思路和问题 2 中的一样，但对于，电梯 ABCD 电梯到达规定运载量后，其可用更新的规则计算方法修改：

$Tx = T_{End} + (L_{End} - 1) \times 2 + N \times (8 + 2) + (N + 1) + F_delay$ ，其中 $x \in \{a, b, c, d\}$ ，上式中各项的意义如下

T_{End} ：该电梯当前批次的最终出发时间，也就是当前批次最后一个人的到达时间；

L_{End} ：该电梯当前批次的最大出发楼层，也就是电梯需要运行的最高位置，到达后即返回；

N ：该电梯当前批次的停靠次数。

与问题二中不同的是， F_delay 是由于该批次中含有车库到达的人员，电梯从地下层接下层的乘客造成的延迟，在本文中，为简化计算流程，以如下方式计算

$$F_delay = \begin{cases} 0 & rand > 0.08 \\ 60 & rand \geq 0.08 \end{cases}$$

上式表示以百分之 8 的概率对某次电梯乘客，该数据以徐州市当地司机车保有量以及医院用车频率的网上数据估计。同样，若该批次的乘客也按照顺序是否在需要更新相应的个人等待时间。

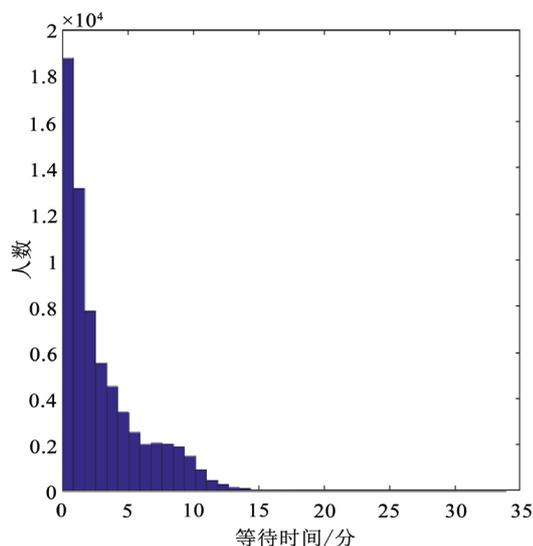
6.4.2. 模拟计算结果

采用 MATLAB 编程实现 6.3.2 中的电梯运行流程模型计算每次模拟人流高峰中电梯人均等待时间与停靠次数，并依据 6.3.1 的仿真框架重复该过程 100 次最后计算得到平均等待时间 \bar{T}_w ，平均停靠次数 \bar{N} ，在该仿真中设定承载率到达 $\mu = 50\%$ ，总人次 750，到达时间服从 $N(3600, 1200)$ 的正态分布，个人期望到达楼层服从 1~29 的离散均匀分布，最终仿真结果，以及代入问题 1 的模糊综合评价模型的结果如下表 7。

根据不满意程度最小原则，方案 3 最优，A、C 电梯停靠范围 4~16 与 B、D 电梯停靠范围 17~29，其不满意程度值最小，为最优方案。下图 8 给出了当前方案下，100 次仿真里所有人的等待时间 - 人数分布图。

Table 7. Simulation results of candidate solutions**表 7.** 候选方案仿真结果

方案	A、C 电梯停靠范围	B、D 电梯停靠范围	平均等待时间 \bar{t}_w /秒	平均停靠次数 \bar{N} /次	不满意度 f
1 单双层	-1, -2, 4~14	-1, -2, 15~29	280.1331	497.5600	0.1747
2 高低层	-1, -2, 4~15	-1, -2, 16~29	246.8557	496.4200	0.1573
3 高低层	-1, -2, 4~16	-1, -2, 17~29	220.8816	497.0200	0.1506
4 高低层	-1, -2, 4~17	-1, -2, 18~29	223.4496	498.7600	0.1517
5 高低层	-1, -2, 4~18	-1, -2, 19~29	228.4453	499.9400	0.1532
6 高低层	-1, -2, 4~19	-1, -2, 20~29	254.1946	498.9000	0.1613
7 高低层	-1, -2, 4~20	-1, -2, 21~29	303.1019	498.2600	0.1918

**Figure 8.** Waiting time-population distribution map (South Korean elevator)**图 8.** 等待时间 - 人数分布图(韩电梯)

从上面的分布图可以看出，绝大多数的人的等待时间在 5 分钟以内，在加入了底层电梯的影响后，时间等待分布趋势与没有电梯时产生了明显的差异，整体等待时间也增长了。

7. 模型的评价与改进

7.1. 模型的评价

- 1) 全文的模型求解都运用了计算机模拟，使求解更接近现实，方案的评价及确定更加简单和合理；
- 2) 在问题二中，采用计算机仿真方法，实现对候选方案的重要指标的估计，缩小了模型的范围，而且在列举出的较优方案中直接对其模拟，易于求得最优方案；
- 3) 在问题三中，利用前面的结果加以适当调整，通过模拟得出最优方案，简单易行。

7.2. 模型的改进

- 1) 由于模型比较理想化，和现实中差距较大，我们的模型还存在不足之处。若要模型更加接近现实，更加精确，则必须重新考虑，放弃一些理想化的假设；
- 2) 在求解问题二和问题三的运行方案时，要使结果更加精准，必需建立统一的优化模型，或者将所有可列结果进行模拟，而不是在所给出的有限的几种方案中模拟，从中选取最优解。

8. 结束语

本文结合 MATLAB 软件, 使用了计算机模拟的方法, 对随机性较大的电梯运行的过程进行了模拟, 大大降低了问题的求解难度。本文不仅评价了现有的电梯运行方案, 还为高层商务楼中的电梯运行管理方案给出较优设计并提供了理论依据。

参考文献

- [1] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [2] 张海龙, 高东红. 几种电梯运行模式的比较及应用[J]. 数学的实践与认识, 2008(10): 65-69.
- [3] 李庆民, 刘君, 张志华, 武器系统仿真模型的可信性验证方法研究[J]. 系统仿真学报, 2006(12).

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-8696, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: mos@hanspub.org