

Optimization of Elevator Operation Scheme for the High-Rise Ward Buildings

Peiyuan Ruan

School of Management, Qufu Normal University, Rizhao Shandong
Email: 1584453775@qq.com

Received: Oct. 15th, 2015; accepted: Nov. 2nd, 2015; published: Nov. 6th, 2015

Copyright © 2015 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

Abstract

With the rapid development of modern hospitals, the operation efficiency of the elevator has attracted more and more people's attention. Therefore, it is particularly important to improve the operation efficiency of the elevator and make the clinic clients reach quickly their destination. Based on "the shortest time of carrying all passengers to their destination" as the objective function, through the comparison of the random operation scheme, the segmentation operation scheme and the parity layer operation scheme, this paper obtained the optimal operation scheme. In the end, the results of this paper are used to the elevator dispatching in Rizhao People's Hospital, and some reasonable suggestions of elevator configuration are put forward.

Keywords

High-Level In-Patient Department, Elevator Running Period, Segmentation, Parity Layer

高层住院楼电梯运行方案的优化

阮培媛

曲阜师范大学管理学院, 山东 日照
Email: 1584453775@qq.com

收稿日期: 2015年10月15日; 录用日期: 2015年11月2日; 发布日期: 2015年11月6日

摘要

随着现代化医院的快速发展, 电梯的运行效率越来越引起人们的关注, 因此, 提高电梯运行效率, 使就诊人员快速到达自己的目的地就显得尤为重要。本文以“把所有乘客运送到目的地所用的时间最短”为目标函数, 通过对随机运行方案、分段运行方案和奇偶层运行方案的对比, 得到了最优的运行方案。最后, 将本文的研究结果用于日照市人民医院的电梯调度中, 对电梯的配置提出合理建议。

关键词

高层住院楼, 电梯运行周期, 分段, 奇偶层

1. 引言

高层电梯运行方案的设计直接关系到医院内部的整体运作水平, 高效的电梯运行方案对于医院的整体运作有重要的意义。本文依据“所有乘客到达目的地需要的次数等于电梯运行的次数”[1]的基本原则, 根据不同的电梯运行方案, 比较分析出了最优的电梯运行方案, 使电梯系统运行更加合理。在此之前, 对于这三种运行方案的比较已经有相关的研究, 本文在这些研究的基础上做了如下改进: 一、人员出入电梯时所花费的时间与人员的数量有关; 二、电梯下行载客。通过以上两方面的改进, 使得模拟电梯的运行更加接近实际情况。

2. 高层电梯交通系统的时间评价指标[2]

- 1) 平均候梯时间: $T_{aw} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^A (T_{iw})$, A 表示总的乘客人数, T_{iw} 表示第 i 个乘客实际的候梯时间。
- 2) 平均乘梯时间: $T_{ac} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^A (T_{ic})$, T_{ic} 表示第 i 个乘客实际的乘梯时间。
- 3) 平均花费时间: $T_{ah} = T_{aw} + T_{ac}$ 。
- 4) 电梯运行一次的时间: $T_t = T_{stop} - T_{start}$, T_{stop} 指电梯运行停止时刻, T_{start} 电梯运行开始时刻。

可以看出, 上述的指标能够直接得评价电梯系统的服务性能。

电梯交通系统现状问题

我们通过对日照市人民医院的调研发现, 到达的医院人员的平均候梯时间为 $T_{aw} = 2.14 \text{ min}$, 平均乘梯时间 $T_{ac} = 2.26 \text{ min}$, 平均花费时间 $T_{ah} = 4.40 \text{ min}$, 电梯从一楼上满人后到将所有乘客送到目的楼层后再次返回到一楼所花费的平均时间 $T_t = 5.04 \text{ min}$ 。由此, 我们可以得出, 在主要的电梯间内, 乘客的平均候梯时间较长, 不符合乘客的理想状态, 上行高峰期电梯间拥挤问题尤为突出。

3. 对电梯运行的假设

- 1) 忽略电梯启动与制动时的加速与减速过程。
- 2) 电梯运行中每经过一层的时间为常数。
- 3) 乘客在允许到达的各层均有人出电梯(第一层除外)。
- 4) 每天去往医院各层的人数取平均值。
- 5) 电梯在高峰期每次上行均在第一层满载, 即达到电梯的容量。

- 6) 电梯停靠时门的打开与关闭时间一定，每位乘客出(入)电梯的时间一定。
- 7) 电梯运行一次的过程中乘客在各层下电梯的概率相等且相互独立，即每层下的人数相等。
- 8) 有两台电梯在独立运行。
- 9) 电梯每次运行每层都有乘客有下行的需求且乘客的下行需求都是下到第一层。
- 10) 文中所研究的电梯为普通人使用的电梯。
- 11) 矮楼层的电梯不在考虑范围内。

4. 有关参数的假设

见表 1。

5. 几种常见电梯运行方式的比较

评价电梯运行系统效率的指标有很多，这里，我们的目标函数是把所有乘客运送完所花的时间最短，即 T_{\min} 。为了分析比较不同的电梯运行方式下的 T ，我们依据下面的原则构建等式从而解得每种电梯运行方式下的 T 。我们的原则是：所有乘客到达目的地需要的次数等于电梯运行的次数，即乘客总数与电

Table 1. Parameter hypothesis
表 1. 参数假设

参数	含义	单位
A	总的乘客数	人
T_{iv}	第 i 个乘客实际的候梯时间	秒
T_{ic}	第 i 个乘客实际的乘梯时间	秒
T_{av}	平均候梯时间	秒
T_{ac}	平均乘梯时间	秒
T_{ah}	平均花费时间	秒
T_{stop}	电梯运行停止时刻	秒
T_{start}	电梯运行开始时刻	秒
$N+1$	楼层总数	层
C	电梯容量	人
t_1	电梯在相邻两层间运行所用的时间	秒
Q	每天去往医院各层人数的平均值	人
α	电梯停靠时门的打开(关闭)时间	秒
θ	每位乘客出(入)电梯的时间	秒
$\frac{C}{N}$	电梯运行一次的每层下的乘客数	人
T	运送完所有乘客所花的时间	秒
p	电梯每层有下行需求人数占电梯容量的比例	无
$T_{奇}$	停靠奇数层的电梯运行周期	秒
$T_{偶}$	停靠偶数层的电梯运行周期	秒

注意： p 的范围为 $\left(0 < p \leq \frac{C}{N}\right)$ ， $Q = \frac{A}{N}$ 。

梯运行一次运送的乘客数之比等于电梯运行完所有乘客所花的总时间与电梯运行周期(电梯运行一次所花时间)之比。将常见运行模式的描述如下:

5.1. 随机运行方案[3]

该方案允许电梯上行时在任意层停靠,下面来分析此种运行方案下电梯的运行周期:电梯从第一层开始运行到最后回到第一层的过程中其运行时间为 $2 * N * t_1$,上行过程中乘客出电梯所耗费的时间为 $N * \left(\alpha + \theta * \frac{C}{N} \right)$,下行过程中乘客进入电梯所耗费的时间为 $N * (\alpha + \theta * pC)$ 。由于除顶层外,电梯上行时有乘客下电梯时电梯停靠电梯门打开(关闭)所花费的时间是 α ,下行时有乘客进电梯,电梯停靠电梯门打开(关闭)所花费的时间也是 α ,但是在最顶层时电梯停靠时电梯门只需打开(关闭)一次供乘客上下电梯,所以要把之前多加的一次时间 α 减掉。从而可得两台电梯平均运行周期均为 $\left\{ 2 * N * t_1 + N * \left(\alpha + \theta * \frac{C}{N} \right) + N * (\alpha + \theta * pC) - \alpha \right\}$,共运送乘客 $2 * C$ 人,运送所有乘客共 $N * Q$ 人,所用的时间为 T ,所以可得:

$$\frac{NQ}{2C} = \frac{T}{2Nt_1 + N\left(\alpha + \theta\frac{C}{N}\right) + N(\alpha + \theta pC) - \alpha}$$

可解得:

$$T = \frac{N^2Q \left[2t_1 + 2\alpha + \theta C \left(\frac{1}{N} + p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C}$$

(注:接下来的几种运行方案的运行周期的分析过程大体思路同 5.1,只是在此基础上略加改动,在此不再赘述。)

5.2. 奇偶层运行方案

该方案要求两台电梯中的一台运行时停靠在奇数层,另一台运行时停靠在偶数层,因此,我们需要对楼层总数 $N + 1$ 的奇偶性进行讨论。

1) 当 N 为偶数, $N + 1$ 为奇数:停靠奇数层的电梯运行周期为

$$\left\{ T_{\text{奇}} = 2 * N * t_1 + \frac{N}{2} * \left(\alpha + \theta * \frac{2C}{N} \right) + \frac{N}{2} * (\alpha + \theta pC) - \alpha \right\}, \text{停靠偶数层的电梯运行周期为}$$

$\left\{ T_{\text{偶}} = 2 * (N - 1) * t_1 + \frac{N}{2} * \left(\alpha + \theta * \frac{2C}{N} \right) + \frac{N}{2} * (\alpha + \theta pC) - \alpha \right\}$,可以看出, $T_{\text{奇}} > T_{\text{偶}}$,故运送所有乘客所用时间即为完成运送至奇数层的乘客所用的时间,依比例可得:

$$\frac{\frac{NQ}{2}}{C} = \frac{T}{2Nt_1 + \frac{N}{2} \left(\alpha + \theta \frac{2C}{N} \right) + \frac{N}{2} (\alpha + \theta pC) - \alpha}$$

可解得:

$$T = \frac{N^2Q \left[2t_1 + \alpha + \theta C \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{2} p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C}$$

2) 当 N 为奇数, $N+1$ 为偶数: 停靠奇数层的电梯运行周期为

$$\left\{ T_{\text{奇}} = 2 * (N-1) * t_1 + \frac{N-1}{2} \left(\alpha + \theta \frac{2C}{N-1} \right) + \frac{N-1}{2} * (\alpha + \theta pC) - \alpha \right\}, \text{ 停靠偶数层的电梯运行周期为:}$$

$$\left\{ T_{\text{偶}} = 2 * N * t_1 + \frac{N+1}{2} \left(\alpha + \theta \frac{2C}{N+1} \right) + \frac{N+1}{2} * (\alpha + \theta pC) - \alpha \right\}, \text{ 可以看出, } T_{\text{偶}} > T_{\text{奇}}, \text{ 故运送所有乘客}$$

所用时间即为完成运送至偶数层的乘客所用的时间, 依比例可得:

$$\frac{\frac{NQ}{2}}{C} = \frac{T}{2Nt_1 + \frac{N+1}{2} \left(\alpha + \theta \frac{2C}{N+1} \right) + \frac{N+1}{2} (\alpha + \theta pC) - \alpha}$$

可解得:

$$T = \frac{N^2 Q \left[2t_1 + \left(1 + \frac{1}{N} \right) \alpha + \frac{\theta C (N+1)}{2N} \left(\frac{2}{N+1} + p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C}$$

5.3. 分段运行方案[4] [5]

该方案将以 $(\eta * N + 1)$ ($0 < \eta < 1$) 层为界分为上下两段。一台电梯运行第 1 层至第 $(\eta * N + 1)$ 层, 另一台电梯则从第 1 层开始, 运行至 $(\eta * N + 2)$, 中间的楼层电梯不停, 在第 $(\eta * N + 2)$ 层至 $(N + 1)$ 层可以随意停, 两台电梯运行所用的总时间分别为 T_1 , T_2 , 依比例可得:

$$\frac{\eta N Q}{C} = \frac{T_1}{2\eta N t_1 + \eta N \left(\alpha + \frac{\theta C}{\eta N} \right) + \eta N (\alpha + \theta pC) - \alpha};$$

$$\frac{(1-\eta) N Q}{C} = \frac{T_2}{2N t_1 + (N - \eta N) \left(\alpha + \frac{\theta C}{N - \eta N} \right) + (N - \eta N) (\alpha + \theta pC) - \alpha};$$

可解得:

$$T_1 = \frac{\eta^2 N^2 Q \left[2t_1 + 2\alpha + \theta C \left(\frac{1}{\eta N} + p \right) - \frac{\alpha}{\eta N} \right]}{C};$$

$$T_2 = \frac{(1-\eta) N^2 Q \left[2t_1 + (1-\eta) \left(2\alpha + \frac{\theta C}{N - \eta N} + \theta pC \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{C};$$

$$T = \max(T_1, T_2);$$

令 $\eta = \eta^*$ 时有 $T_1 = T_2 = T^*$, 则 $T = T^*$ 。由于 T_1 是 η 的增函数, T_2 是 η 的减函数, $0 < \eta < 1$, 则当 $\eta > \eta^*$ 时有 $T_1 > T^* > T_2$, 即 $T = T_1 > T^*$, 反之则有 $T = T_2 > T^*$, 因此当 $\eta = \eta^*$ 时 T 有最小值, 即当

$$\eta = \eta^* = \frac{1}{4Nt_1} (-2\theta pCN + 2\alpha - 4N\alpha - 2C\theta - 2Nt_1) + \frac{1}{2Nt_1} \left(8\alpha N^2 t_1 - 4\alpha N t_1 - 2\alpha\theta C - 2\theta pCN\alpha + 2\theta^2 pC^2 N + \theta^2 p^2 C^2 N^2 + 4\alpha N\theta C + 4\theta C t_1 N - 4\alpha^2 N + \alpha^2 + 4\alpha^2 N^2 + \theta^2 C^2 + 5t_1^2 N^2 + 4\theta pCN^2 \alpha + 4\theta pCN^2 t_1 \right)^{1/2}$$

时该方案达到最优

$$T = \frac{\eta N Q \times (2t_1 N \eta + 2\alpha N \eta + \theta C N^2 + \theta p C N \eta - \alpha)}{C}$$

(注： η 是在 MATLAB 中进行求解得到，即首先将各个参数置为符号变量，然后利用 solve 函数来求得 η 的值。)

6. 电梯运行效率的比较

通过上述随机模型、分段模型的奇偶层模型的分析比较可以得出，上述电梯三个运行模式运行所需要的总时间存在以下关系：

$$\frac{N^2 Q \left[2t_1 + 2\alpha + \theta C \left(\frac{1}{N} + p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C} > \frac{N^2 Q \left[2t_1 + \alpha + \theta C \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{2} p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C}$$

$$\frac{N^2 Q \left[2t_1 + 2\alpha + \theta C \left(\frac{1}{N} + p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C} > \frac{N^2 Q \left[2t_1 + \left(1 + \frac{1}{N} \right) \alpha + \frac{\theta C (N+1)}{2N} \left(\frac{2}{N+1} + p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C}$$

从上式可以看出，运行效率比较有：奇偶层运行方案 > 随机运行方案

$$\frac{N^2 Q \left[2t_1 + \alpha + \theta C \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{2} p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C} > \frac{\eta N Q (2t_1 N \eta + 2\alpha N \eta + \theta C N^2 + \theta p C N \eta - \alpha)}{C}$$

$$\frac{N^2 Q \left[2t_1 + \left(1 + \frac{1}{N} \right) \alpha + \frac{\theta C (N+1)}{2N} \left(\frac{2}{N+1} + p \right) - \frac{\alpha}{N} \right]}{2C} > \frac{\eta N Q (2t_1 N \eta + 2\alpha N \eta + \theta C N^2 + \theta p C N \eta - \alpha)}{C}$$

从上式可以看出，运行效率比较有：分段运行方案 > 奇偶层运行方案。

综合上述模型分析可以看出，分段运行方案的运行效率是最高的，因此将电梯分段的优化方法结合实际应用于高层电梯，将大大改善电梯的运作效率。

7. 实际案例分析

通过对日照市人民医院的调研得到以上模型参数的具体数值如表 2 所示：

将各参数带入对应的模型函数，可以分别计算出电梯在不同情况下运行的具体时间如表 3。

Table 2. The actual parameter list

表 2. 实际参数一览表

参数	具体值
N	22 层
C	24 人
t_1	2 秒
α	2.5 秒
θ	0.8 秒
p	1/22 秒
A	9410 人

Table 3. Actual time schedule

表 3. 实际时间一览表

方案	时间(小时)
随机运行	$T = 12.7373$ 小时
奇偶层运行	$T = 9.2194$ 小时

从上面的结果,可以看出奇偶层的运行方案明显优于随机运行方案。对于,分段运行分案,我们通过计算得出, $\eta = 0.55089$ 时达到最优,即以 12 层为界限,第一台电梯运行第 1 到 12 层,第二台电梯运行第 1 层,第 13 层到 22 层时效率最高。此外,我们可以看到求解的时间 T 值都比较大,一方面这是因为我们求得的时间是一天中将所有乘客运送完所花费的时间;另一方面,我们假设只有两台电梯在运行,在实际中,通过增加电梯的数量就能有效的减少运行所花费的时间。

8. 总结

本文先利用理论知识得到不同电梯运行方案下的参数模型,再将此模型应用于日照市人民医院的电梯运行中,得到了一个比较满意的优化方案。但在实际的应用中,我们的模型还存在一定的不足。一、我们对于下行的乘客的假设是每层都有下行需求的人且每层的人数是相等的,这与实际情况存在差距;二、我们假设电梯在允许到达的各层(第一层除外)均有乘客出电梯,即每次电梯都运行到它能到达的最高层,而在实际生活中,电梯每次的运行并不是都有到达最高层需求的乘客,此外,电梯可能会因某层没有乘客出电梯而不在该层停靠;三、我们对于分段运行方案只是采取了简单的分段形式,实际中的分段更加的复杂。四,我们是在电梯的数量一定的情况下对电梯的运行进行优化,并没有涉及到电梯的数量配置问题。五,我们假设每天去往每层的乘客人数相等,但实际中并不均等。

致 谢

本论文是在屈彪老师的悉心指导下完成的,在此,表示深深的感谢!此外,感谢全国本科生创新计划项目的大力支持!

参考文献 (References)

- [1] 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, 5: 65-69.
- [2] 孟佶贤, 徐凤, 吕新忠. 高层电梯系统运行方案的建模与求解[J]. 运筹与管理, 2014, 10: 168-177.
- [3] 陆惠广, 谢超, 杨博. 高层办公楼电梯问题[J]. 兰州铁道学院学报, 1997, 16(1): 92-98.
- [4] 马潇, 马子贵. 电梯规划的动态模型[J]. 计算机工程与应用, 2004, 18: 221-224.
- [5] 宗群, 牙淑红, 王振世. 基于排队论的上高峰电梯群控调度的研究[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(6): 722-725.