

马尔可夫网络排队模型在电梯配置中的应用

宗 群, 程义菊, 宋军远

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

[摘要] 利用马尔可夫网络排队理论建立了电梯交通模型, 在此基础上对各服务站的电梯配置交通进行计算, 得到电梯的配置参数。通过与传统的电梯配置方法相比较, 显示出明显的优越性, 也表明了利用马尔可夫网络排队模型进行电梯配置的有效性和可行性。

[关键词] 马尔可夫网络排队理论; 电梯交通模型; 优化电梯配置

[中图分类号] TP273 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)10-0069-04

1 引言

电梯作为高层建筑中客流的垂直输送设备, 目前已经得到了广泛的运用, 但电梯不像其他交通工具可随时更新或添加, 确定建筑中电梯的合理数量、额定容量、运行速度等配置参数, 这就必须对电梯交通进行分析。传统的电梯配置一般采用理想状态下的试凑法, 即先给定轿厢数和轿厢的承载能力, 然后分析其所达到的性能指标, 若不可接受, 则重新给定, 直至满足要求。这种方法不仅需要耗费大量的时间, 而且由于它并没有综合考虑影响电梯配置的诸多因素, 如乘客到达的随机性、各楼层人数分布的不均匀性、楼层高度的不一致性和轿厢的启动、制动影响等, 配置方案在一般情况下并不完全合理。

鉴于传统电梯配置所存在的问题, 笔者提出采用马尔可夫网络排队理论来建立电梯交通模型, 在对电梯交通模型有效分析的基础上进行电梯的优化配置。

2 电梯交通模型^[1]

对于100层左右的超高建筑来说, 影响乘客心

理状态的2个最重要的因素是乘客的候梯时间和乘梯时间, 对于办公大楼, 最长的乘客候梯时间应不超过30s, 最长的乘梯时间应不超过90s, 综合考虑这些因素可以在100层建筑物的第30和第60层设置2个空中大厅, 相应地将大楼分为低层区、中层区和高层区3部分。

针对上行高峰状况的电梯服务情况, 采用Jackson开网络将电梯随机服务系统建立模型如图1所示的排队网络, 其中, 1代表建筑物大厅的电梯排队系统, 2代表设在建筑物第30层的空中大厅的电梯排队系统, 3代表设在第60层的空中大厅的电梯排队系统。该网络里有3个服务站, 每个服务站有自己的队列, 其中第*i*个服务站包括 m_i 个独立同分布的服务时间服从指数分布的服务台, 服务率为 μ_i , 第*i*个服务站的外部输入是参数为 λ_i , $i=1, 2, 3$, 的泊松流, 且各服务站的外部输入与各服务时间是相互独立的。在第*i*个服务站接受服务后的顾客立即以概率 p_{ij} 沿路径转移到第*j*个服务站排队等候服务, 而以概率 $q_i = 1 - \sum_{j=1}^3 p_{ij}$ 离开系统。网络队列的状态可以用一个*M*阶的向量来表示: $n = (n_1, n_2, \dots, n_M)$, 其中 n_i 代表在

[收稿日期] 2003-03-24; **修回日期** 2003-06-09

[基金项目] 天津市自然科学基金资助项目(993801211)

[作者简介] 宗 群(1961-), 男, 天津市人, 天津大学电气与自动化工程学院教授, 硕士生导师

服务站 i 的队长, 在这个网络模型中, 将 3 个排队系统归纳为典型的排队系统 GI/M/n 中的 $E_m/M/n$ 模型。

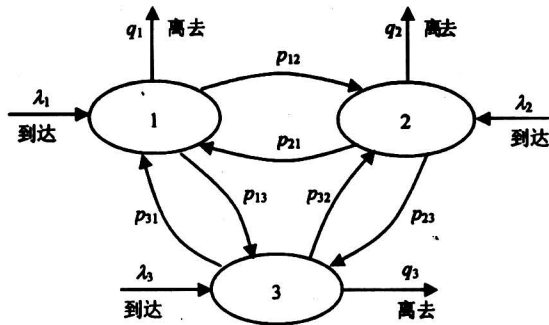


图1 马尔可夫网络排队电梯交通模型

Fig.1 Elevator traffic model based on Markov network queuing theory

3 各服务站的交通配置计算

对于办公大楼, 一般取时间间隔 $t_{int} = 30$ s、电梯服务强度 $\rho < 1.0$ ^[2] 作为目标函数对电梯系统进行优化配置。

3.1 服务站 1 的交通配置计算

下面对服务站 1 进行交通配置计算, 假定乘客前往任一楼层的概率相同。

3.1.1 在上行高峰交通模式下, 确定轿厢数和轿厢承载能力^[3, 4]

1) 计算 5 min 内上行高峰到达人数 p_5

对于图 1 所示的电梯排队网络系统, 其各个服务站的总乘客到达率 Λ_i 可用如下公式求解:

$$\begin{bmatrix} \Lambda_1 \\ \Lambda_2 \\ \Lambda_3 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} \lambda_1(1 - q_1) \\ \lambda_2(1 - q_2) \\ \lambda_3(1 - q_3) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & -p_{12} & -p_{13} \\ -p_{21} & 1 & -p_{23} \\ -p_{31} & -p_{32} & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

其中, $q_i = 1 - \sum_{j=1}^3 p_{ij}$, p_{ij} 是矩阵 $P(n)$ 的元素。

在上行高峰情况下, 由于所有的乘客都从办公大楼的大厅进入电梯系统接受服务, 而在服务站 2 和服务站 3 则没有乘客从系统外部进入电梯系统, 即此时 $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$, 因此, 得到在上行高峰情况下电梯排队网络各个服务站的总乘客到达率 Λ_i 如下:

服务站 1 (即办公大楼大厅): $\Lambda_1 = \lambda_1$,

服务站 2 (即第一空中大厅): $\Lambda_2 = p_{12}\lambda_1$,

服务站 3 (即第二空中大厅): $\Lambda_3 = p_{13}\lambda_1$,

也就是说, 进入服务站 2 和服务站 3 的乘客都

必须首先接受服务站 1 的服务, 因此, 在上行高峰期的情况下, 5 min 内上行高峰到达人数 p_5 可以用式 (1) 来计算。

$$p_5 = 300\Lambda_{\text{uppeak}} = 300(\Lambda_1 - \Lambda_2 - \Lambda_3) = 300(1 - p_{12} - p_{13})\lambda_1, \quad (1)$$

其中 Λ_{uppeak} 表示上行高峰情况下, 整个电梯排队网络的总乘客到达率。

2) 以额定速度运行的单层运行时间

$$t_v = d_c/v, \quad (2)$$

其中 d_c 表示大楼内一般楼层高, v 表示电梯额定速度。

3) 计算停靠时间 t_s

$$t_s = t_c + t_o + (t_1 - t_v),$$

其中 t_s 表示停靠时间, t_c 表示关门时间, t_o 表示开门时间, t_1 表示单层运行时间, t_v 表示以额定速度运行的单层运行时间。

4) 计算轿厢时间间隔估计值 t_{int}

利用诺顿迭代方法求解时间间隔估计值 t_{int} ,

$$t^{(k+1)} = t^{(k)} - \bar{\omega}_k \frac{f(t^{(k)})}{f'(t^{(k)})},$$

其中 t 就是时间间隔 t_{int} , $\bar{\omega}_k$ 为下降因子, 取 $\bar{\omega}_k = 0.5$, 通过迭代法就可以求出时间间隔。

5) 用迭代法计算出轿厢数 L

计算时间间隔内乘客到达数

$$P = \Lambda_{\text{uppeak}} t_{int}. \quad (3)$$

求解平均最高返回楼层

$$h = \sum_{i=1}^n iP\{H = i\} = \sum_{i=1}^n i(e^{-P/n})^{n-i}(1 - e^{-P/n}). \quad (4)$$

计算期望的停靠次数

$$S = np = n(1 - e^{-P/n}), \quad (5)$$

其中 n 为服务站 1 的楼层数。

计算往返一次运行时间基值

$$t_{rtb} = 2Ht_v + (S + 1)t_s + 2Pt_p,$$

其中 t_p 表示乘客转移时间, 指单个乘客进入及离开轿厢所需时间的平均值。

附加时间计算

由于楼层高度的不均匀性、电梯开关门损失、电梯层间运行是否达到额定速度、额定加速度等因素, 都会造成一定的附加时间, 而传统计算一次运行时间 (RTT) 公式并未考虑到这些因素的影响, 因此, 为了对电梯系统进行优化配置, 需要对这部分时间进行计算。

计算层间运行附加时间 t_{a1}

令 $F = H/S$ ；若 $F = 1$ ，则 $z = 0$ ， $y = H - S$ ；若 $F = 2$ ，则 $z = H - 2S$ ， $y = S - z$ ；若 $F = 3$ ，则 $z = S$ ， $y = 0$ ；则

$$t_{a1} = y(t_2 - t_1 - t_v) + z(t_3 - t_1 - 2t_v)。(6)$$

计算楼层距离不均匀引起的附加时间

$$t_{a2} = \frac{2 \sum (d_s - d_c)}{v}, (7)$$

其中 d_s 表示特殊楼层层高， d_c 表示普通楼层层高。

计算开关门造成的损失时间

$$t_{a3} = t_s S - P t_{p0} (8)$$

5% 的额外干扰时间

$$t_{a4} = t_{rtb} \times 5%。(9)$$

往返一次运行时间

$$t_{rt} = t_{rtb} + t_{a1} + t_{a2} + t_{a3} + t_{a4}。(10)$$

计算轿厢数

$$L_{11} = t_{rt} / t_{int}。(11)$$

计算实际电梯间时间间隔

$$t_{intc} = t_{rt} / L_{11}。(12)$$

若 $t_{intc} \gg t_{int}$ ，并且 $t_{intc} > 30$ s，则 $t_{int} = 2t_{intc} - t_{int}$ ，继续迭代运算；否则，迭代完毕，确定 t_{intc} 。据行业标准调整轿厢数 L_{11} ，行业标准规定大楼内一般可设置电梯数是 3~8 部，见表 1。

表 1 轿厢承载能力现行标准

Table 1 Current standard of the car capability

标准	允许承载乘客数 /人·台 ⁻¹				
现行国家标准	5	8	10	13	16
部颁标准	7	10	14		21
日本标准	6	7	11	15	

6) 计算轿厢承载能力 C

在已知轿厢数情况下，重新计算 t_{rt} ，利用式 (12) 重新计算实际电梯时间间隔 t_{intc} ，在此基础上，计算轿厢承载能力

$$C = \frac{P}{0.8} = \frac{t_{upint} P_5}{0.8 \times 300} = \frac{t_{upint} P_5}{240} (\text{取整})。(13)$$

通过式 (13) 计算得出的轿厢承载能力，还需要根据电梯承载能力的行业现行标准调整轿厢承载能力 C 。

3.1.2 计算电梯服务强度

$$\rho = \frac{t_{rt}}{L} \cdot \frac{(1 - p_{12} - p_{13}) \lambda_1}{k}, (14)$$

其中 k 表示电梯每批运送乘客的数量，在这里取 $k = 0.8C^{[2]}$ 。如果 $\rho > 1.0$ ，则需要重新设置参数，继续前面的配置计算直到满足 $\rho < 1.0$ 为止。

3.1.3 计算轿厢平均载荷 \bar{M} 利用公式 $t_{upint} = t_{rt} / L_{11}$ 计算上行高峰交通模式下电梯时间间隔 t_{upint} ，然后计算轿厢平均载荷

$$\bar{M} = \frac{t_{upint} P_5}{300C} \times 100。(15)$$

3.1.4 计算平均候梯时间

$$t_{wq} = 0.45P_0 t_{int} + 2P_1 t_{int} = (2 - 1.55P_0) t_{int}, (16)$$

其中 P_0 为乘客在一个时间间隔内到达的数目小于轿厢容量的概率， P_1 为乘客在一个时间间隔内到达的数目大于轿厢容量的概率。

3.2 服务站 2 和服务站 3 的交通配置计算

由电梯排队网络可知，在上高峰情况下，服务站 2 和服务站 3 的电梯交通配置计算与服务站 1 在求解 L_{11} 时的情况相同。所不同的是，服务站 2 服务的楼层区间为 30~59 层，其乘客总到达率为 $\Lambda_2 = p_{12} \lambda_1$ ；服务站 3 服务的楼层区间为 60~100 层，相应的其乘客总到达率为 $\Lambda_3 = p_{13} \lambda_1$ 。只要将公式中的乘客到达率相应的替换为 $\Lambda_2 = p_{12} \lambda_1$ 和 $\Lambda_3 = p_{13} \lambda_1$ 就可以求得服务站 2 和服务站 3 的梯配置结果和相应的性能指标。

4 电梯配置结果分析与比较

下面举例说明基于电梯排队网络模型的电梯配置方法与传统电梯配置方法相比的优越性。一个 16 层大楼（门厅以上）的电梯系统。层间距离为 3.3 m，额定速度为 2.5 m/s，门开闭时间 3.4 s，单层行驶时间 4.3 s。每层人数相同，在 5 min 上行高峰期内要求呼梯 110 次。乘客转移时间（进和出）1.2 s。乘客平均候梯时间不超过 24 s，5 min 下行高峰期内要求呼梯 150 次。在平衡层间运行工作情况下，每小时内有大楼总人数 660 人的 1/3 人使用电梯。

从表 2 可知，方案 1（4 部，12 人/部）和方案 2（5 部，8 人/部）的上行高峰平均候梯时间均较合适，而方案 2 的平均轿厢载荷是 88%，已没有裕量用来增加上行高峰输送的需求，而方案 1 的平均轿厢载荷是 72%，还可以适当增加上行高峰输送的需求。同时，方案 1 比方案 2 的下行高峰和

平衡层间的平均候梯时间要短。所以,使用基于电梯交通流的马尔可夫排队网络模型的电梯配置方法求得的电梯配置方案比使用传统电梯配置方法求得的电梯配置方案更加合理有效。

表 2 两种电梯配置方法的比较结果

Table 2 Comparing it with the tradition method

电梯配置方法 (电梯部数) × (每部人数)	马尔可夫排队方法 方案 1:4×12	传统方法 方案 2:5×8
平均轿厢载荷/%	72	88
上行高峰平均候梯时间/s	21.2	22.2
下行高峰平均候梯时间/s	23.5	38
平衡层间平均候梯时间/s	10.2	17

5 结论

采用基于马尔可夫网络排队模型的电梯配置,可根据同等规模大楼的实际交通流情况预测该在建大楼的交通流情况,然后根据预测的交通流情况,即上行高峰、下行高峰和层间交通模式的乘客实际

到达率,为计划建造的大楼进行电梯配置,使配置结果更加符合实际情况、更加合理。避免人为随机设定交通流参数,而造成配置结果与实际情况不相适应,甚至造成经济损失。此外,用户可更改电梯配置结果,根据该配置结果所对应的各项性能指标来调整电梯的配置情况。

参考文献

- [1] Yoo S J, Kim S D. Scene-based traffic modeling and queuing analysis of MPEG Video Sequences [J]. Electronics Letters, 1998, 34(15): 1484~1486
- [2] Barney G C, Dos S M. Elevator traffic analysis, design and control [M]. Peter Peregrinus, London: IEEE, 1985
- [3] Brannon J. Independent consultant, elevator traffic analysis and selection for smaller buildings [J]. Elevator World, 1998, (May): 86~87
- [4] 王思明,汪虹. 一类多站循环服务系统的队列状态转移函数[J]. 系统工程与电子技术, 1999, 21(9):40~44

Elevator Configuration Based on the Markov Network Queuing Model

Zong Qun, Cheng Yiju, Song Junyuan

(School of Electric and Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[Abstract] The article applies the Markov network theory to build the elevator traffic model. Based on the model elevator configuration parameters of the serving stations are calculated. comparing it with traditional method, the result shows better effect of the method. Meanwhile the result shows the validity and feasibility of the method applied to elevator configuration.

[Key words] Markov network queuing theory; elevator traffic model; optimizing elevator configuration