

# 电梯群控系统的活动扫描法仿真

华北工学院自控系, 太原 030051 林 都 曾建平 陆载德

**摘 要** 本文在对电梯群控系统进行分析的基础上, 给出了该系统的一种仿真模型。进一步论述了用活动扫描法对该系统进行仿真的原理和步骤。最后以一个例子说明了该方法的可行性。

**关键词** 电梯群 活动扫描法 建模 系统仿真

## 1. 概述

随着城市中高层建筑物的增加, 作为垂直运输主要工具的电梯得到了越来越广泛的应用。对中、大规模的建筑物来说, 需要多台电梯才能满足楼内交通的需要。电梯群控系统是指在一座大楼内安装一组电梯, 并将这组电梯与一个中央控制器(计算机)联接起来。该计算机可以采集到每个电梯的梯内呼号、门厅呼号、载重量和位置等信号, 并可向每个电梯发送控制信号。中央控制器对这组电梯进行统一调配, 使它们合理地运行, 达到提高电梯的整体服务质量、减少能耗的目的。

电梯群控除了它的硬件——电梯与计算机外, 还有一个重要的部分是它的软件——调度策略。调度策略是一种算法。它根据所采集到的电梯群的状况, 进行分析综合后按一定的规则向各个电梯发出控制信号, 指挥这些电梯协调地运行。这个规则可以是一般的逻辑函数关系, 也可以是一个专家系统或是两者的结合。

从 80 年代起, 世界上各大电梯公司都将电梯群控系统作为产品升级换代的主要手段之一, 投入大量资金进行研究, 开发新产品, 并已经取得了很大成绩。如美国奥地斯(otis)公司的“分区控制调度原则”、瑞士迅达(shindler)公司的“按成本调度原则”和日本日立电梯(Hitachi Elevator)公司的“最小最大呼号分配逻辑”等等, 都已形成了有本公司特色的系列产品, 投放市场后收到了很好的效益。<sup>[1][2]</sup>

由于电梯的价格高, 且安装完毕后不易调换。故对用户来说, 在购买前用仿真的方法进行模拟是很必要的。它可以使用户合理地选择电梯的数量、类型。在电梯投入运行后, 该仿真方法还可以对电梯的客流数据进行仿真, 给用户提供最佳的调度方案。

本文在对电梯群控系统进行分析的基础上, 给出了电梯群控系统的模型, 包括客流模型、电梯运动模型和调度策略模型。并根据系统仿真中的活动扫描法原理得到了电梯群控系统的仿真模型和计算流程。最后以一个实例说明了该方法的可行性。

## 2. 电梯群控系统模型

### 2.1 客流模型

在电梯行业中一般认为乘客的到达服从泊松分布<sup>[3]</sup>

---

\* 本文收稿日期: 1994-05-17

$$P[\text{在时间 } T \text{ 内出现 } n \text{ 个乘客}] = \frac{(\lambda T)^n e^{-\lambda T}}{n!} \quad (1)$$

式中:  $\lambda$  为到达率(单位时间内平均到达的乘客数)

$T$  为时间长度

用以下递推公式得到乘客 1, 2, ... 的到达时间:

$$\begin{cases} t_p(0) = 0 \\ t_p(i) = t_p(i-1) + \frac{\ln(r)}{\lambda} \end{cases} \quad (2)$$

这里  $t_p(i)$  为第  $i$  个乘客的到达时间,  $r$  为 (0, 1) 内服从均匀分布的随机数。

为了确定乘客的上梯、下梯楼层, 构造乘客起点密度向量  $O$  和起点—终点矩阵  $OD$ 。以  $O_i$  表示以  $i$  层楼为起点的乘客与乘客总人数的百分比。以  $OD_{ij}$  表示从第  $i$  层楼到第  $j$  层楼的乘客占以第  $i$  层楼为起点乘客的百分比。 $A_i$  表示第  $i$  层楼的总人数,  $N$  为楼层数。则  $O_i, OD_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N$ ) 由下列公式得到:

$$\rho_i = A_i / \sum_{j=1}^N A_j \quad (3)$$

起点密度向量  $O_1 = \sigma_1$

$$O_i = (\sigma_1 + \sigma_3)\rho_i \quad (i = 2, 3, \dots, N)$$

其中:  $\sigma_1$  表示以第一层楼为起点向上运行的乘客占乘客总人数的百分比。

$\sigma_2$  表示以第一层楼为终点的乘客占乘客总人数的百分比。

$\sigma_3$  表示起点、终点均不是一层的乘客占乘客总人数的百分比。

不同的交通模式对应的  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  的值不同。起点—终点矩阵:

$$OD_{ij} = \begin{cases} 0 & j = 1 \\ 100\rho_j & j \neq 1 \end{cases}$$

$$OD_{ii} = \begin{cases} 0 & i = 1 \\ 100 \times \sigma_2 / (\sigma_2 + \sigma_3) & i \neq 1 \end{cases}$$

$$OD_{ij} = \begin{cases} 0 & i = j \\ 100 \times \sigma_3 \times \beta_{ij} / (\sigma_2 + \sigma_3) & i \neq j \end{cases}$$

其中: 
$$\beta_{ij} = A_j / \sum_{\substack{k=2 \\ k \neq i}}^N A_k$$

最后得到:

$$\text{起点密度向量: } O = (O_1 \quad O_2 \quad \dots \quad O_N) \quad (4)$$

起点—终点矩阵:

$$OD = \begin{bmatrix} OD_{11} & OD_{12} & \cdots & OD_{1N} \\ OD_{21} & OD_{22} & \cdots & OD_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ OD_{N1} & OD_{N2} & \cdots & OD_{NN} \end{bmatrix}_{N \times N} \quad (5)$$

根据  $O$ 、 $OD$  进行两次蒙特卡罗抽样试验便可得到一个乘客的起点楼层和终点楼层。结合 (2) 可得到该乘客的到达时间。

综上所述, 一个乘客可由三个要素决定, 即上梯楼层、下梯楼层和到达时间。(以下为了方便, 我们也将乘客叫作呼号)。因此, 一个呼号表示为

$$P_i = (P_{i1} \quad P_{i2} \quad P_{i3}) \quad (6)$$

$i = 1, 2, \cdots N_p$   $N_p$  为乘客总数

$P_{i1}$  表示第  $i$  个乘客上梯楼层。

$P_{i2}$  表示第  $i$  个乘客下梯楼层。

$P_{i3}$  表示第  $i$  个乘客的到达时间。

## 2.2 电梯模型

电梯运行时间满足以下规律:

$$t_c = \begin{cases} \frac{s}{v} + \frac{v}{a} & s \geq v^2 / a \\ 2\sqrt{s/a} & s < v^2 / a \end{cases} \quad (7)$$

其中  $S$  为电梯运行距离,  $v$ ,  $a$  分别为电梯的速度和加速度。

定义电梯状态矩阵

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \\ \cdots & \cdots \\ e_{M1} & e_{M2} \end{bmatrix}_{M \times 2} \quad M \text{ 为电梯数} \quad (8)$$

其中  $e_{i1}$  表示第  $i$  台电梯所在楼层;  $e_{i2}$  表示第  $i$  台电梯中的人数。

定义梯内呼号矩阵:

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1N} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{M1} & b_{M2} & \cdots & b_{MN} \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (9)$$

其中  $b_{ij} = 0, 1, 2$  分别表示第  $i$  台电梯在第  $j$  层无呼号, 有上行呼号, 有下行呼号。

定义门厅呼号矩阵:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1N} \\ h_{21} & h_{22} & \cdots & h_{2N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ h_{M1} & h_{M2} & \cdots & h_{MN} \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (10)$$

其中  $h_{ij}$  的定义同  $b_{ij}$ 。( $i = 1, 2, \cdots, M$   $j = 1, 2, \cdots, N$ )

### 2.3 控制策略模型

当一个新的呼号产生时 (即一个乘客到达时), 控制策略根据当前电梯系统的状态按一定规则决定该呼号  $P_i$  应该分配给哪一台电梯。以  $J_i$  表示第  $i$  台电梯响应呼号  $P_i$  所付出的代价

$$J_i = J_i(E, C, H, P_i) \quad (11)$$

若:  $J_k = \min(J_1, J_2, \cdots, J_M)$  则呼号  $P_i$  分配给电梯  $R$ 。即:

$$h_{kP_i} = \begin{cases} 1 & P_{1l} < P_{2l} \\ 2 & P_{1l} > P_{2l} \end{cases} \quad (12)$$

( $i = 1, 2, \cdots, M$ )

## 3. 仿真模型和算法

### 3.1 电梯群控系统的特点及仿真方法选择

在离散事件系统仿真中常用的方法有: 事件调度法、活动扫描法和进程交互法<sup>[4]</sup>。通过对电梯群控系统运行规律的分析我们发现电梯运行并不是按预定的时间进行。它的状态发生变化不但与时间有关, 还与其它一些条件, 如: 梯内人数、梯内呼号及门厅呼号等有关。而这些条件是否成立是我们事先不能确定的, 只有到那个时间才能够知道条件是否成立。也就是说, 在该系统中某一个事件是否发生不但与时间有关还与条件有关, 条件成立则事件发生, 否则不发生。据以上分析我们认为采用活动扫描法对该系统是合适的。

从逻辑上说, 对电梯系统乘客 (呼号) 是主动成分, 电梯是被动成分。只有有呼号电梯才动作。但是, 进一步分析我们会看到电梯反过来会对呼号产生影响。当电梯到达某一层时, 该层的与电梯运行方向相同的门厅呼号会被消去。因此, 我们作以下两点考虑:

①把电梯也作为主动成分。

②将梯内呼号与门厅呼号统一起来当作一个成分, 呼号的变化, 包括新乘客的到达仅作为该成分的状态发生了变化。

从下面的仿真模型及算法中大家会发现这样处理后会使得模型及算法大大地简化。

### 3.2 仿真模型及算法

根据以上论述, 电梯群控系统的仿真模型为:

成分集合:  $C = (\alpha_0, \alpha_1, \cdots, \alpha_M)$

$\alpha_0$  表示电梯系统中的呼号 ( $B, H$ )

$\alpha_i$  表示第  $i$  台电梯 ( $i = 1, 2, \cdots, M$ )

主动成分集合  $C_A = C$

$S = (E, B, H)$  所有成分的状态变量, 定义见 (8)~(10)。

$t_{ai}$  为成分  $\alpha_i$  的状态下一次发生变化的时刻。

$D_{ai}(s)$  为成分  $\alpha_i$  在系统状态  $S$  下条件是否满足  $D_{ai}(s) = \text{true}$  表示条件满足;  $D_{ai}(s) = \text{false}$  表示不满足。

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_{NP}\}$  为成分  $\alpha_0$  的属性集合。

TIME 为模型仿真钟的值。

各子例程及发生的条件是:

①子例程 0

$D_{a0}(S)$  恒为 true。按 (11)、(12) 分配呼号。 $t_{a0} = P_{13}$   $l$  为新呼号的序号。

②子例程  $i$  ( $i = 1, 2 \dots M$ )

条件: if  $b_{ij} < > 0$  or  $h_{ij} < > 0$  then  $D_{ai}(S) = \text{true}$

else  $D_{ai}(S) = \text{false}$

$S = |\text{电梯当前所在楼层} - \text{下次停靠楼层}| \times \text{楼层高度}$

$$t_{ai} = t_c + d_1 + d_2$$

其中:  $t_c$  按 (7) 计算。 $d_1$  为电梯开、关门时间。 $d_2$  为该电梯内乘客的下梯时间和梯外乘客上梯时间。

记录上梯乘客的等待时间\*和电梯停靠次数\*。

\* 评价电梯服务质量的主要指标是乘客的平均等待时间和最大等待时间。

\* \* 电梯耗能主要发生在停靠与启动时, 约占总能耗的 70%~80%。

记:  $\text{FUTURE}(S) = \{\alpha_i | t_{ai} > \text{TIME}\}$

$\text{PRESENT}(S) = \{\alpha_i | t_{ai} = \text{TIME}\}$

$\text{PAST}(S) = \{\alpha_i | t_{ai} < \text{TIME}\}$

仿真算法为

置初始时间  $t = t_0$  结束时间  $t_{\infty} = t_e$

置主动成分仿真钟  $t_{a0} = P_{13}$   $t_{ai} = t_0$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ )

置系统仿真钟  $\text{TIME} = t_0$

while ( $\text{TIME} \leq t_{\infty}$ ) 执行扫描

for  $i = 0$  to  $M$

if ( $t_{ai} \leq \text{TIME}$  and  $D_{ai}(s) = \text{true}$ )

执行子例程  $i$

endif

endfor

endwhile

#### 4. 仿真实例及结论

利用以上算法, 我们已编制成通用的电梯群控系统仿真软件, 下面是一个例子及仿真结果。

楼房及电梯背景信息:

- ①服务楼层区: 2~20
- ②楼层间高度: 3.0 米
- ③各层人数: 100 人
- ④电梯数量: 4 台
- ⑤电梯额定速度和加速度:  $2.5\text{m/s}$   $1\text{m/s}^2$
- ⑥电梯容量: 15 人
- ⑦开、关门时间: 6S
- ⑧平均每位乘客上梯时间: 1.0S
- ⑨平均每位乘客下梯时间: 0.8S
- ⑩客流密度:  $\lambda=0.95$  人 / S

仿真结果

乘客平均等待时间: 19.2S

最大乘客候梯时间: 80.7S

长时间候梯率(候梯时间超过 60S 的人数占总人数的比例) 8.2%。

本文从原理到具体的仿真算法论述了电梯群控系统的活动扫描法仿真。仿真结果表明文中所采用的步骤是正确的。该方法具有运算简单, 软件结构明确易懂的特点。用仿真语言或一般的高级语言均可实现。该方法可以对不同的建筑, 如: 办公楼、宾馆、住宅楼等以及不同的电梯配置进行模拟。还可以仿真不同的调度策略。仿真后, 可以得到乘客的平均等待时间, 最大等待时间, 电梯停靠次数等数据。可为电梯用户合理地选择电梯和提高已有电梯的利用率提供可靠的依据。

## 参 考 文 献

1. 袁修乔. 微计算机在电梯中的应用. 电梯通讯. 建科院建筑机械化所, No.2, 1984, 4。
2. 史信芳等. 电梯技术. 电子工业出版社. 1989.5。
3. 威廉E. 博伊斯. 建立数学模型实例研究. 天问电脑公司信息部编译. 1988。
4. 熊光楞等. 连续系统仿真与离散事件系统仿真. 清华大学出版社, 1991.2。

# The Activity Scanning Simulation of Elevator Group Control Systems

Lin Du   Zeng Jianping   Lu Daide

*North China Institute of Technolgy*

**Abstract** Based on the analysis to elevator group control systems, a simulation model of the system is proposed. The simulation algorithm using activity scanning strategy is described. Finally, an example is given to demonstrate the availability of the proposed method.

**Keywords** Elevator group   Activity scanning   Modelling   System simulation.