

# 基于排队论的上高峰电梯群控调度的研究

宗 群, 牙淑红, 王振世

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

**摘 要:** 在用不同的调度方法——不分区方法、分两个固定区域的方法和分 4 个固定区域的方法进行仿真实验的基础上, 总结出电梯群控系统中在不同乘客到达情况下的调度规律, 并应用排队论的方法从理论上对这个规律进行了推导。给出了求解各调度方案到达率有效范围的方法。在此基础上, 提出了 1 种根据到达率的有效范围采用不同调度方法的新调度方法。最后, 经过在虚拟仿真环境下的仿真实验, 证明了这 1 种调度方法的有效性。

**关键词:** 排队论; 电梯; 群控; 调度方法

中图分类号: TU857

文献标识码: A

## Elevator Group Control Dispatching Method During Up-Peak Traffic Based on Queuing Theory

ZONG Qun, YA Shu-hong, WANG Zhen-shi

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

**Abstract:** This paper summarizes elevator dispatching rules of elevator group control system under different arrival rates on the basis of simulations of different elevator dispatching methods including none zoning method, two fixed zoning method and four fixed zoning method. Afterwards, these rules are deduced theoretically using queuing theory and the method to obtain the valid range of arrival rate of the three elevator dispatching methods is given. Then a new elevator dispatching method, that different zoning method is adopted according to above valid range of arrival rate, is presented. Simulation shows the effectiveness of this elevator dispatching method.

**Keywords:** Queuing theory; Elevator; Group control; Dispatching method

## 1 引 言

在电梯群控系统中, 调度算法对系统的性能影响极大。电梯随机服务系统调度控制策略的设计不仅依赖于电梯系统本身的配置、性能, 而且取决于交通流的特点和性质。不同性质的交通流对某一特定调度算法的调度效果有很大的差异。电梯群控系统应根据不同的客流交通模式, 以最合适的方式应答层站的呼梯信号, 使电梯系统的综合性能最佳。

本文引入排队论理论进行电梯群控调度。根据上高峰期乘客到达率的不同, 给出不同的电梯调度算法, 以便获得较好的调度效果, 使电梯系统的综合性能最佳。

## 2 上高峰调度方案的研究

上高峰交通模式是指主要(或全部)的客流是上行方向, 即全部或者大多数乘客在建筑物的门厅进入电梯且上行。它是一种典型的交通模式, 一般出现在早晨上班时。为了发现上高峰交通流各种调度方案的调度效果差异的规律性, 我们在虚拟仿真环境<sup>[3]</sup>下对不分区算法 iv、分两个固定区域

的算法 ①、分 4 个固定区域的算法 ④三种调度方案进行了数百次仿真实验, 得到了如下的规律。

(1) 在低到达率的情况下, 不分区的调度方法较优, 主要表现在不分区可以减少乘客候梯时间的同时, 保持其它指标的效果与其它方案大致相同;

(2) 乘客到达率较高时, 分区算法较优。在更高的乘客到达率的情况下, 每部电梯每次只服务一、两个目的楼层的乘客才能取得很好的效果;

(3) 在中等的乘客到达率的情况下, 应该采用一种折衷的方法, 采用兼有分区和不分区方法各自优点的方法, 即分两个区、两部电梯服务一个区的调度方案。

因此, 需要根据乘客到达率的情况, 划分乘客到达率的有效范围, 采取相应的调度方法, 才能获得较好的调度效果。下面我们将用概率论和排队论的方法从理论上推导出这个规律, 并且给出求解各调度方案到达率有效范围的方法。

## 3 到达率有效范围的求解

由于各到达率有效范围与目标函数有关, 平均逗留时间

和平均候梯时间的到达率有效范围就相差很多。为了同时考虑停车次数的优化,下面以平均逗留时间的优化为目标函数来求取到达率范围。

### 3.1 相关术语的定义

为了便于阐述,先给出一些相关术语的定义。

**乘客到达率** 单位时间内到达大楼门厅的乘客数,单位:人/min。

**电梯服务率** 单位时间内电梯往返运行的次数。

**往返运行时间(the round trip time, RTT)** 单台电梯沿建筑物楼层上下运行,以电梯在门厅开门时起直到往返一次再回到门厅重新开门时止所需的时间,单位: s。

**平均候梯时间** 乘客从登记一个呼唤(或可以登记一个呼唤)的瞬时开始到乘客进入电梯为止的一段等待服务的平均时间,单位: s。

**平均乘梯时间** 乘客从登记一个呼唤开始到跨入目的层为止的这个过程所经历的平均时间,单位: s。

**平均逗留时间** 乘客平均候梯时间与平均乘梯时间的总和,单位: s。

### 3.2 往返运行时间和乘客到达率的关系

电梯的往返运行时间  $RTT$  可用(1)式求取<sup>[2]</sup>

$$RTT = 2Ht_v + (S + 1)t_s + 2Pt_p \tag{1}$$

式中  $H$  —— 平均最高到达楼层;  $S$  —— 门厅以上停靠次数;  $P$  —— 往返一次所载乘客的数目;  $t_v$  —— 以额定速度在两层楼之间运行时所需的时间;  $t_s$  —— 停靠时间;  $t_p$  —— 乘客进出轿厢的平均时间。

要得到  $RTT$  和到达率  $\lambda$  的关系,必须把  $H$ 、 $S$ 、 $P$  三个参数用到达率  $\lambda$  表示出来。

假设乘客的到达时间间隔  $T$  服从参数为  $\lambda$  的负指数分布,则其概率密度为

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} \quad (\lambda > 0) \tag{2}$$

于是单位时间到达的人数  $N$  的期望为

$$E(N) = \frac{1}{E(T)} = \lambda$$

电梯相继到达门厅的时间间隔为

$$INT = RTT/L$$

式中  $L$  —— 该区域服务的电梯数目。如果不分区的话,  $L$  就是电梯的数目。如果令  $t = INT$ , 则  $RTT = Lt$ , 电梯每次服务的人数为

$$P = E(N)t = \lambda t \tag{3}$$

式中  $\lambda$  必须满足  $1 \leq \lambda \leq C$ , 即电梯不能空驶,也不能大于电梯的额定容量  $C$ 。当  $\lambda < 1$  时, 设  $P = 1$ ; 当  $\lambda > C$  时, 设  $P = C$ 。

下面就要把  $H$ 、 $S$  和  $\lambda$  的关系找出来。

由于总到达率为  $\lambda$ , 设门厅以上的楼层数为  $n$ , 而且交通流各目的楼层均匀分配, 则各目的楼层的到达率为

$$\lambda' = \frac{\lambda}{n}$$

下面先求不分区情况下的  $H$  和  $S$ 。

设某一层电梯不作停留的概率为  $q$ , 停留的概率为  $p$ , 则有  $p = 1 - q$ 。

某一层电梯不作停留的概率,也就是在某一层没有乘客的概率。由到达时间间隔服从负指数分布与到达人数服从泊松分布的等价性可知, 去往某一层的乘客人数服从参数为  $\lambda't$  的泊松分布。设  $N(t)$  为时间  $[0, t]$  内到达系统的乘客数, 则有

$$P\{N(t) = k\} = \frac{(\lambda't)^k}{k!} e^{-\lambda't}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \tag{4}$$

当  $k = 0$  时, 有  $q = e^{-\lambda't}$ , 即为某一层没有乘客的概率, 于是  $p = 1 - q = 1 - e^{-\lambda't}$ , 则最高返回楼层为  $n$  的概率为  $p$ , 即  $P\{H = n\} = p$ 。

最高返回楼层为  $n - 1$  的概率相当于  $n$  层不作停留而  $n - 1$  层作停留的概率, 即  $P\{H = n - 1\} = qp$ 。

于是, 可以得到最高返回楼层为  $n - i$  的概率, 即

$$P\{H = n - i\} = q^i p, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n - 1 \tag{5}$$

在不分区的情况下, 最高返回楼层的期望为

$$H = \sum_{i=1}^n i P\{H = i\} = \sum_{i=1}^n i (e^{-\lambda't})^{n-i} (1 - e^{-\lambda't}) \tag{6}$$

电梯在一次运行期间停车次数的期望可以用楼层数乘以任一层停留的概率来求取, 即

$$S = n \cdot p = n \cdot (1 - e^{-\lambda't}) \tag{7}$$

式中  $S$  应满足  $1 \leq S \leq C$ 。

根据上述讨论, 把(3)式、(6)式、(7)式代入(1)式, 可以得到

$$Lt = 2 \sum_{i=1}^n i (e^{-\lambda't})^{n-i} (1 - e^{-\lambda't}) t + [n \cdot (1 - e^{-\lambda't}) + 1] t_s + 2n \lambda' t_p \tag{8}$$

在分区的情况下,  $n$  就相当于某一区域共有的楼层数,  $L$  就是服务这个区域的电梯数。如果设这个区域的最低楼层为  $b$ , 则有

$$\begin{aligned} H &= \sum_{i=1}^n i \cdot P\{H = i\} + b - 1 \\ &= \sum_{i=1}^n i \cdot (e^{-\lambda't})^{n-i} \cdot (1 - e^{-\lambda't}) + b - 1 \end{aligned} \tag{9}$$

设这个区域的电梯相继到达门厅的时间间隔为  $t$ , 把(3)式、(6)式、(9)式代入(1)式, 可以得到分区情况下  $RTT$  的公式

$$\begin{aligned} Lt &= 2 \sum_{i=1}^n i (e^{-\lambda't})^{n-i} (1 - e^{-\lambda't}) + b - 1 t_v + \\ &\quad [n(1 - e^{-\lambda't}) + 1] t_s + 2n \lambda' t_p \end{aligned} \tag{10}$$

(8)式和(10)式分别表明了在不分区和分区的情况下去往某一目的楼层的乘客到达率  $\lambda'$  和电梯相继到达门厅的时间间隔  $t$  之间的关系, 但是公式两边都是  $t$  的表达式, 不能直

接利用这个关系求取  $t_0$ 。

采用 Newton 法解上述非线性方程, 利用下降 Newton 格式。对于一元非线性方程  $f(x) = 0$ , 其下降 Newton 格式为

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \omega_k [f(x^{(k)})]^{-1} f'(x^{(k)}) \quad (11)$$

通常在  $(0, 1)$  之间选取  $\omega_k$ 。

以不分区的情况为例, 由 (8) 式, 设

$$f(t) = 2 \sum_{i=1}^n i (e^{-\lambda t})^{n-i} (1 - e^{-\lambda t}) t_v + [n \cdot (1 - e^{-\lambda t}) + 1] t_s + 2n\lambda t_p - Lt \quad (12)$$

则

$$f'(t) = 2 \sum_{i=1}^n i (n-i) (e^{-\lambda t})^{n-i-1} (-\lambda) e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) t_v + 2 \sum_{i=1}^n i (e^{-\lambda t})^{n-i} \lambda e^{-\lambda t} t_v + \lambda n e^{-\lambda t} t_s + 2n\lambda t_p - L \quad (13)$$

把 (12) 式、(13) 式代入 (11) 式, 就可得到 (8) 式的下降 Newton 格式

$$t^{(k+1)} = t^{(k)} - \omega_k [f(t^{(k)})]^{-1} f'(t^{(k)}) \quad (14)$$

Newton 格式生成的时间间隔迭代序列  $\{t^{(k)}\}$  至少平方收敛于  $t^*$ , 迭代 3 次以后误差便迅速降到 0.1 以内, 继续迭代, 发现迭代的时间间隔  $t$  变化较为缓慢, 说明已经接近该非线性方程的解。迭代 11 次以后,  $t = 0.2468 \text{ min}$  (相当于 14.808s), 此时的误差已经小于 0.001min (相当于 0.06s)。

在已知电梯相继到达门厅的间隔时间  $INT$  以后, 可以利用  $RTT = L \cdot INT$  求取电梯往返运行时间。对于上面求出的  $INT$ ,  $RTT = 0.2468 \times 4 = 0.9872 \text{ min}$  (即 59.23s), 则电梯的服务率  $\mu = \frac{1}{RTT} = 1.013$ 。

### 3.3 求取乘客的平均逗留时间

如前所述, 给定乘客到达率, 可以求出电梯的服务率。这里假定服务率在给定的到达率的情况下一定, 乘客的到达时间间隔服从负指数分布。由于乘客是均匀到达的, 所以在下一个时间间隔内得到服务的乘客的平均候梯时间为  $INT/2$ ; 在下一个时间间隔得到服务的平均候梯时间会略大于  $1.5INT$ 。于是有 (15) 式

$$W_q = P_0 \cdot \frac{INT}{2} + 1.5P_1 \cdot INT \quad (15)$$

式中  $P_0$  —— 在一定时间间隔内的乘客数目小于轿厢容量的概率;  $P_1$  —— 在一定时间间隔内的乘客数目大于轿厢容量的概率, 分别由 (16) 式、(17) 式求取

$$P_0 = P\{N < C\} = \sum_{i=0}^{C-1} \frac{(N)^i}{i!} e^{-N} \quad (16)$$

$$P_1 = P\{N \geq C\} = 1 - P_0 \quad (17)$$

按照 (17) 式求取的乘客候梯时间, 在到达率特别小时偏大, 在到达率特别大时偏小。对其进一步调整可得

$$W_q = 0.45P_0 \cdot INT + 2P_1 \cdot INT = (2 - 1.55P_0) INT \quad (18)$$

有了平均候梯时间, 接下来是如何在给定的到达率情况

下求取平均乘梯时间。

假设上高峰交通流的目的楼层均匀分布, 即到达门厅的乘客去往各楼层的概率是相等的。于是有平均乘梯时间  $W_r$  等于平均最长乘梯时间  $W_b$  和平均最短乘梯时间  $W_s$  的均值, 即

$$W_r = (W_b + W_s)/2 \quad (19)$$

$W_b$  是  $RTT$  的一部分, 即  $RTT$  从中减去最高返回楼层运行到门厅的时间、电梯的一次停靠时间和部分乘客的转移时间(去往最高层的乘客不一定是第一个从门厅进入轿厢的乘客)<sup>[2]</sup>。所以  $W_b$  可表示为

$$W_{lr} = Ht_v + St_s + \frac{3}{2}Pt_p \quad (20)$$

$W_{sr}$  包括部分乘客的转移时间(去往最低停靠层的乘客不一定是最后一个从门厅进入轿厢的乘客)、一次停靠时间和电梯运行至最低停靠楼层的时间。用 (21) 式表示为

$$W_s = ht_v + t_s + \frac{P}{2}t_p \quad (21)$$

式中  $h$  —— 最低停靠楼层。由文献[2]知,  $h$  可由 (22) 式计算

$$h = \sum_{i=1}^n i \left[ \left( \frac{n-i+1}{n} \right)^p - \left( \frac{n-i}{n} \right)^p \right] \quad (22)$$

式中人数  $p$  的计算公式为

$$p = \frac{\lambda \cdot RTT}{L} \quad (23)$$

在分区的情况下,  $n$  相当于某一区域共有的楼层数,  $L$  就为服务这个区域的电梯数。如果设这个区域的最低楼层为  $b$ , 这时

$$h = \sum_{i=1}^n i \left[ \left( \frac{n-i+1}{n} \right)^p - \left( \frac{n-i}{n} \right)^p \right] + b - 1 \quad (24)$$

只要将上面的推导代入 (25) 式就可求得平均逗留时间, 即

$$W = W_q + W_r = P_0 \cdot \frac{INT}{2} + 1.5P_1 \cdot INT + \frac{1}{2}(Ht_v + St_s + \frac{3}{2}Pt_p + ht_v + t_s + \frac{P}{2}t_p) \quad (25)$$

### 3.4 求取到达率有效范围

上面推导了求取电梯随机服务排队系统的乘客平均候梯时间和乘客平均逗留时间的方法, 其目的是找出在某一特定的大楼参数和电梯参数下, 上述 3 种调度方案以平均逗留时间为优化指标时调度效果较优的到达率范围。

下面以求取算法 iv 和算法 ⑤ 的平均逗留时间优化的到达率区分点  $\lambda_1$  为例, 说明求解到达率有效范围的方法。求取算法 ⑤ 和算法 ④ 的平均逗留时间优化的到达率区分点  $\lambda_2$  与此类似。在下述表述中  $W_1$  表示算法 iv 的平均逗留时间,  $W_2$  表示算法 ⑤ 的平均逗留时间。 $h$  表示求解时的到达率的步长。 $W_1$  和  $W_2$  近似相同, 表示二者在一定的误差范围  $\xi$  内相同, 并不是完全相等, 即

$$|W_1 - W_2| \leq \xi \quad (26)$$

在电梯服务系统中, 由于系统的随机性,  $\xi$  取 1s 就可以

满足计算精度和速度的要求,  $h$  取 0.5 人 / min。

如图 1 所示, 首先选定一个初始到达率, 选好这个到达率可以减少运算量。接着, 按照上述方法求取算法 iv 和算法 ⑤ 的乘客平均逗留时间  $W_1$  和  $W_2$ 。如果二者在误差  $\xi$  允许的情况下相同, 则当前乘客到达率就是所求的到达率分点  $\lambda_1$ , 否则就要调整  $\lambda$ , 用新的  $\lambda$  按照前述步骤重新计算, 直到找到符号 (26) 式的  $\lambda$ 。

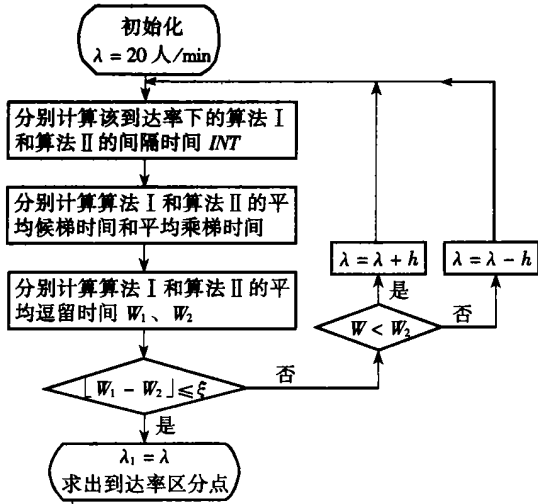


图 1 算法流程图

选定如下的大楼和电梯参数, 大楼参数: 楼层数 16, 门厅高度是 3m; 其它楼层高度为 2.5m, 4 部电梯; 每部电梯的额定参数均为: 最大速度 2m/s, 最大加/减速度 2m/s<sup>2</sup>, 最大加速度的变化率 2m/s<sup>3</sup>, 额定容量 12 人, 开/关门时间 0.8s, 关门时间 0.8s, 乘客转移时间 0.8s。用上述算法算得的  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别为 18.5 人/min 和 36 人/min。

3.5 到达率有效范围的验证

在虚拟环境下, 按照上述的参数设置进行仿真, 得到各调度方案的平均逗留时间回归曲线如图 2 所示。从图中得到  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别为 18 人/min 和 38 人/min, 与上述算法的结果十分相近, 说明了上述算法的正确性。

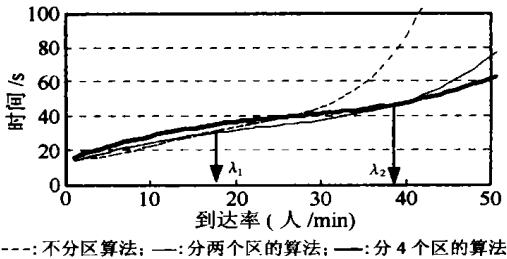


图 2 各调度方案的平均逗留时间回归曲线

4 基于排队论的电梯群控调度方案

由上述讨论可以得到基于排队论的调度方法的基本思想: 首先根据大楼高峰期的交通状况的数据进行统计, 获取乘客到达率随时间变化的规律<sup>[8]</sup>, 根据交通分布规律、乘客的到

达率和当前电梯系统的人数, 计算待优化的指标函数(候梯时间或者乘梯时间代价), 从而求取相应的到达率的有效范围。如果乘客的到达率非常高, 使用动态分区方法, 利用动态规划求取动态分点。如果乘客到达率较低, 且当前的电梯系统人数较少, 宜用不分区最小等待或是少分区的方法。

在虚拟仿真环境下, 选定如下的大楼和电梯参数, 大楼参数: 楼层数 16, 门厅高度 4m; 其它楼层高度 2.5m, 4 部电梯; 每部电梯的额定参数均为: 最大速度 4m/s, 最大加/减速度 2m/s<sup>2</sup>, 最大加速度的变化率 3m/s<sup>3</sup>, 额定容量 12 人, 开/关门时间 0.9s, 关门时间 0.9s, 乘客转移时间 1s。使用以下几种调度方法: 不分区最小等待时间方法 iv、分两个固定区域的方法 ⑤、静态分区方法 ④、动态分区方法 ⑤、上高峰马尔可夫排队论方法<sup>(h)</sup>, 进行仿真实验。使用的上高峰交通流的时间区间是早晨 8:00~8:33, 共 809 人, 总到达率曲线如图 3 所示。得到各方法的主要性能指标如表 1 所示。

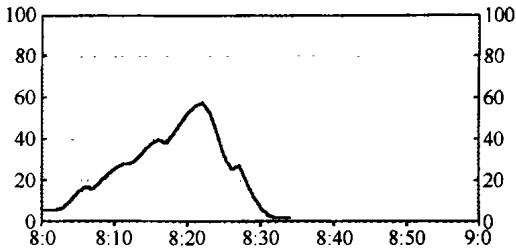


图 3 总到达率曲线

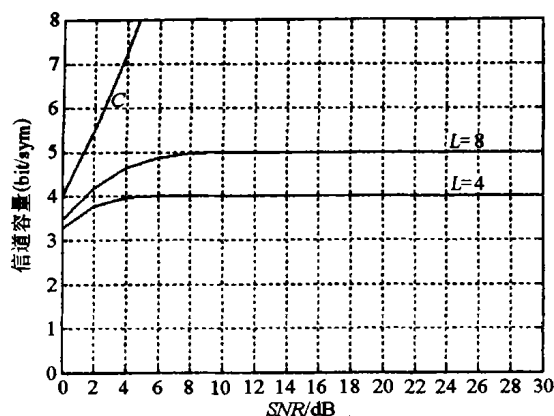
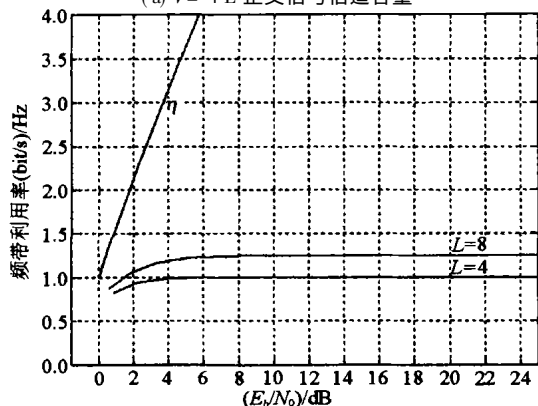
表 1 各调度方法的主要性能指标

性能指标	方法 I	方法 II	方法 III	方法 IV	方法 V
平均候梯时间/s	29.43	31.45	48.31	34.84	14.01
最长候梯时间/s	96.0	163.20	272.60	366.60	102.40
长候梯率/%	17.6	18.5	24.0	20.8	1.24
平均乘梯时间/s	26.58	20.85	29.22	28.19	24.03
最长乘梯时间/s	70.90	56.10	55.50	66.60	77.40
拥挤度	9.73	8.43	8.95	9.09	8.93
停车次数	691	674	474	454	607

注: 长候梯率= 候梯时间超过 60s 的乘客数/总乘客数×100%, 拥挤度= 电梯一次服务人数/轿厢容量×100%。

从表 1 可见, 分区的方法通过电梯对乘客的集中服务使电梯的停靠次数明显减少, 比较适合乘客到达率较高的上高峰交通流。如果用于乘客到达率较低的上高峰交通流, 虽然会降低停车次数, 但是会使乘客的候梯时间显著增加。采用马尔可夫排队论方法针对不同到达率, 采用不同的分区方法, 虽使电梯的停车次数比分区的方法增加了, 但乘客候梯时间和长候梯率显著降低, 因此该方法的综合性能指标是最优的。

(下转第 749 页)

(a)  $V=4$  L-正交信号信道容量(b)  $V=4$  L-正交信号频带利用率图 2  $V=4$  L-正交信号集的信道容量及频带利用率

地逼近香农限。值得注意的是,由仿真曲线可以看出,通过扩展信号星座集,可以获得可观的编码增益,这就奠定了另一著名领域——格状编码调制(TCM)技术的基础<sup>[3]</sup>。TCM同样是引入可控的编码冗余以降低误码率,但是其编码冗余是通过扩展信号集来实现的,从而避免了带宽的扩展。通过对多进制多维调制信号集在离散输入连续输出无记忆信道中的信号容量分析,我们得出两点结论:①扩展信号集编码相对于未编码调制系统理论上可以获得约 7dB~8dB 的编码增益;④通过扩展信号集一倍可以获得几乎全部的编码增益。

### 参考文献:

- [1] 傅祖芸. 信息论基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 1989.
- [2] Lindsey W C, Simon M K. L-Orthogonal Signal Transmission and Detection[J]. IEEE Trans. on Comm., 1972, 20(10): 953-960.
- [3] Ungerboeck G. Channel Coding with Multilevel/Phase Signals[J]. IEEE T-IT, 1982, 28(1): 55-67.
- [4] Philip Edward McIlree. Channel Capacity Calculations for  $M$ -ary  $N$ -Dimensional Signal Sets[D]. Master Thesis, 1995.
- [5] 冯康, 等. 数值计算方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 1972.

(上接第 725 页)

## 5 结 论

本文在用不同的调度方法进行仿真实验和对实验结果进行回归分析的基础上,得出一些统计意义上的调度规律并用排队论的方法从理论上推导出这个规律,给出求解各调度方案的到达率有效范围的方法,并给出根据到达率的有效范围选取合适的调度方法的一种新的调度方法。在虚拟仿真环境下使用这种方法对电梯群控系统进行调度,取得了较好的调度效果。

### 参考文献:

- [1] 官建成. 随机服务过程及其在管理中的应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1994.
- [2] 巴桑 G C, 多斯桑托斯 S M. 电梯交通分析设计与控制[M]. 彭克荣, 张惠侨, 林天一, 译. 中国建筑科学研究院建筑机械化研究所, 1993.

- [3] 宗群, 尚晓光, 岳有军. 电梯群控系统虚拟仿真环境设计[J]. 制造业自动化, 1999, 21(5): 24-25.
- [4] Pepyne David L, Cassandras Christos G. Design and Implementation of an Adaptive Dispatching Controller for Elevator Systems during Uppeak Traffic[J]. IEEE Trans. on Control Systems Technology, 1998, 6(5): 635-650.
- [5] Pepyne David L, Cassandras Christos G. Optimal Dispatching Control for Elevator Systems during Uppeak Traffic[C]. Proc. of the 35th Conference on Decision and Control, Kobe, Japan, 1996.
- [6] Chan W L, Albert T P So, Lam K C. On the More Technical Side-Dynamic Zoning in Elevator Traffic Control[J]. Elevator Technology, I-AEE, 1995: 132-139.
- [7] Chan W L, Albert T P So, Lam K C. Dynamic Zoning for Intelligent Supervisory Control[J]. International Journal of Elevator Engineering, 1995: 47-59.
- [8] Zong Qun, Ya Shuhong, Wang Zhenshi. Queuing Theory Based Traffic Flow Analyzing of EGCS[J]. Elevator World, 2002: 114-120.