



# 控制理论与应用

CONTROL THEORY & APPLICATIONS

第2卷

第2期

Vol. 2



1985

**控制理论与应用**

(季刊)

第2卷 第2期 1985年4月

主办 华南工学院

单位 中国科学院系统科学研究所

编辑: 《控制理论与应用》编辑委员会

编辑部地址: 广州华南工学院

出版: 广东科技出版社

印刷: 华南工学院印刷厂

发行: 广东省新华书店

全国各地新华书店订购

**CONTROL THEORY AND APPLICATIONS**

(Quarterly)

Vol. 2 No. 2 April, 1985

Sponsored by: The South China Institute of Technology

The Institute of Systems Science, Academia Sinica

Edited by: The Editorial Committee of CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

South China Institute of Technology, Guangzhou The People's Republic of China

Published by: Guangdong Science and Technology Press

Distributed by: Guangdong Provincial Xinhua Book Store

G23  
7:8

《控制理论与应用》编辑委员会

CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

Editorial Committee

主 编

Editor-in-chief

许 国 志

Xu Guozhi

Hsu, Kuochih

副主编 (按姓名笔划为序)

Vice Editors-in-chief

李 伯 天

张 学 铭

Li Botian

Zhang Xueming

Zhang, Hsueming

涂 其 栩

Tu Qilie

To, Kelai

学 术 顾 问

Consulting Editors

何 毓 琦\*

谈 自 忠\*\*

Ho, Y. C.

Tarn, T. J.

\*美国哈佛大学教授 (Y. C. Ho is with the Division of Applied Sciences, Pierce Hall, Harvard University, Cambridge, MA 02138.)

\*\*美国华盛顿大学教授 (T. J. Tarn is with the Division of Systems Science and Mathematics, Washington University, St. Louis, Missouri 63130.)

## 委 员 (按姓名笔划为序)

Editors

万百五 Wan Baiwu Van, Bewu	王康宁 Wang Kangning	王朝珠 Wang Chaozhu
冯纯伯 Feng Chunbo	冯纘刚 Feng Zuangang	卢桂章 Lu Guizhang
刘豹 Liu Bao	刘永清 Liu Yongqing Liou, Yungching	刘明俊 Liu Mingjun
宋健 Song Jian	李文清 Li Wenqing Lee, Yungching	李训经 Li Xunjing Lee, Hsunging
李春阳 Li Chunyang	李树英 Li Shuying	吴捷 Wu Jie
吴麒 Wu Qi Wu, Chi	陈珽 Chen Ting	陈振宇 Chen Zhenyu
陈祖浩 Chen Zuhao Chen, Tsuhau	杨家埤 Yang Jiachi Yang, Chiachih	林伟 Lin Wei
周其节 Zhou Qijie	张志方 Zhang Zhifang	张钟俊 Zhang Zhongjun Chang, Tsuntsing
张嗣瀛 Zhang Siying Chang, Szuying	秦化淑 Qin Huashu Tsin, Hwashu	黄琳 Huang Lin Hwang, Ling
曹长修 Cao Changxiu	疏松桂 Shu Songgui Shu, Sungkuei	韩志刚 Han Zhigang
潘群儒 Pan Qunru	戴冠中 Dai Guanzhong	

# 控制理论与应用

第2卷 第2期

## 目 录

### 综 述 与 评 论

城市交通控制系统综述.....潘文敏(1)

### 论 文 与 报 告

控制系统 CAD 软件包的设计

——CSCAD 的实现及其应用.....王治宝 卢桂章 王秀峰(12)

时延系统的鲁棒调节器.....方崇智 钱唯德 张金水(22)

广义动力系统的强可控性与强可观性.....严拱天(33)

带参数的系统的 Robust 控制器.....涂奉生 齐寅峰(46)

冷连轧机轧辊偏心自校正调节器.....陈振宇 田卫国(55)

改进三级共态预估法收敛性能的四级算法

.....卞 硕 汪定伟(62)

分散系统的最优局部输出反馈控制(英文)

.....李光泉 S. H. Wang, C. S. Wu(81)

广义状态空间系统的强能控性和强能观性.....许可康(82)

离散时滞大系统的无条件稳定性(英文)

.....张钟俊 钱振英(100)

### 短 文

一类快速控制问题的矩量方法.....邵 剑(101)

一类线性时变大系统的运动稳定性.....辜建德(108)

一类非线性系统的能控性条件.....陈云峰(114)

人口系统能控性的探讨.....刘秦玉 柴洪山 (119)

### 研究简报

在频域中研究单输入、单输出线性控制系统的二次性能指标  
.....郑应文 (126)

### 书刊评介

《线性系统理论与设计》.....周其节 (131)

### 学术机构介绍

中国自动化学会简介..... (107)

### 读者·作者·编者

译文商榷..... (21)

敬告读者..... (45)

更正..... (61)

# CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

Vol.2 No.2

## CONTENTS

### Surveys and Reviews

Overview of Urban Traffic Control Systems .....	Pan Wenmin ( 11 )
--	-------------------

### Paper and Reports

Design of the Control System CAD Software Package —Realization of CSCAD and Its Applications .....	Wang Zhibao, Lu Guizhang and Wang Xiufeng ( 21 )
Robust Regulator for Control Systems With Time Delay .....	Fang Chongzhi, Qian Weide, Zhang Jinshui ( 32 )
Strong Controllability and Strong Observability of Generalized Dynamical Systems .....	Yan Gongtian ( 45 )
Robust Control for Linear Multivariable Systems With Para- meters.....	Tu Fengsheng, Qi Yinfeng ( 54 )
Self-Tuning Regulator for Roll Eccentricity of Cold Tandem Mills.....	Chen Zhenyu, Tian Weiguo ( 61 )
A Four-Level Algorithm to Improve the Convergence of the Three-Level Costate Prediction Method .....	Kuang Shao, Wang Dingwei ( 71 )
Optimal Local Output Feedback Control in Discrete-time Decentralized Systems .....	Li Guangquan, S. H. Wang, C. S. Wu ( 72 )
Strong Controllability and Strong Observability of Generalized State Space Systems.....	Xu Kekang ( 91 )



On Unconditional Stability of Large-Scale Discrete Systems With  
Delays.....Zhang Zhongjun, Qian Zhenying ( 92 )

#### Brief Papers

On the Moment Method for a Class of Time Optimal Control  
.....Shao Jian ( 107 )

On the Stability of the Motion of a Class of Linear Large-Scale  
Systems With Time-Varying Coefficients  
.....Gu Jiande ( 113 )

A Sufficient Condition for Controllability of a Class of Non-  
linear Systems.....Chen Yunfeng ( 118 )

The Study of Controllability of Population Systems  
.....Liu Qinyu, Chai Hongshan ( 125 )

#### Research Notes

A Study of Quadratic Performance Indices of SISO Linear  
Control Systems in Frequency Domain  
.....Zheng Yingwen ( 130 )

# 城市交通控制系统综述

潘文敏

(西安公路学院)

## 摘 要

本文给出了城市交通控制系统的概述。对集中、分布及递阶式交通控制系统均进行了阐述。对各种控制方法、控制策略、典型的交通网络模型及算法也进行了讨论。作为一个综合的交通管理与控制体系，其经济效益是极其显著的。

## 一、序 言

交通运输是城市功能活动的动脉。城市交通直接影响社会经济、生产与生活的各个方面。拥挤、混乱的交通不仅浪费人们的时间和精力、严重地污染环境，而且造成巨大的经济损失。以我国北京、上海等市为例，随着现代化城市的迅速发展，车辆数目逐年剧增，而路网通行能力的提高却受到各种客观条件的限制。由此不仅导致车辆行驶速度的急剧下降，而且造成十分严重的交通阻塞和拥挤现象。八十年代，北京市公共汽车速度已下降到每小时14公里左右。二环以内受阻交叉口达20多个，受阻时间有时长达半小时，受阻车队则延至2—3华里。与此相应，交通事故及公害也十分严重。

英国每年由于交通阻塞造成的经济损失达十亿英镑，其中80%发生在城市地区。美国有近24万信号交叉口，在城市道路网内行驶的车辆要消耗全国燃油耗费量的五分之一左右。如果控制不当，导致车辆在交叉口空转或停车，将造成几乎40%的燃油浪费，其损失是惊人的<sup>[1]</sup>。美国卫生、教育福利部报告指出，车辆是最大的污染源，排出空气中43%重量的污染物。美国大气中CO的48%、碳氢化合物的59%、氮氧化合物的32%均由汽车排放出去<sup>[2]</sup>。显然，当道路阻塞、车速降低、燃料不能完全燃烧时问题更为严重。恶劣的交通为城市公害之祸首。

随着交通控制理论不断发展，通讯、检测、计算机技术在交通控制领域的广泛使用，许多发达国家相继建立和发展了区域交通控制(Area Traffic Control, 简称ATC)或城市交通控制(Urban Traffic Control, 简称UTC)系统，对整个城市交通网络用计算机进行统一的协调管理与控制。实践证明，实现现代化交通管理与控制是解决城市交通问题的有力工具和重要措施。早期的ATC系统着重于对周期、绿信比、

起步时差(两个相邻信号绿灯起始时间之差,或从某一基准时间到绿灯信号开始时间)等交通信号变量进行最优控制。现代的城市交通管理与控制系统则是多种技术的综合体。它包括车辆检测、数据采集与传输、信息处理与显示、信号控制与最优化、电视监视、交通管理与决策等多个组成部分。应具有如下功能:实施城市交通运输政策与策略;提高现有道路利用率;改善道路交通安全;节省能源;减少环境污染和公害;收集交通数据;提供交通情报;为整个社会提供综合的经济效益。

1963年,在加拿大的多伦多市建成了世界上第一个数字计算机控制的ATC系统。二十年来,该系统经历了由固定配时控制到自适应控制,由集中控制到分散、递阶控制,由执行简单控制任务到成为控制与管理综合体的发展过程。目前世界上已有300多个区域交通控制系统,日本已建立了67个,欧洲和美国则分别建立了100及150个区域交通控制系统。

本文就交通控制系统、系统结构、控制策略、控制方式及综合社会效益等几方面进行综述。

## 二、城市交通控制系统的结构

### 1. 集中式计算机控制结构

将网络内所有交叉口连接起来,用一台中、小型计算机对整个系统进行集中控制。其原理、结构简单。早期几乎都是采用集中结构方式,目前仍有许多系统采用该方式。该结构的主要缺点是:大量数据与信息的集中处理,整个系统的集中控制,不仅需要昂贵而庞大的通信传输系统、巨大的存储容量,还需要很长的运行与响应时间。这就极大地影响了控制的实时性,并限制了集中控制的区域范围。信息及控制的高度集中也导致了系统可靠性的下降。通常需要采用双机冗余设备。很明显,这种结构方式势必面临响应时间过长及维数灾难等危机。

### 2. 分布式计算机控制结构

大系统理论的发展为复杂大系统的递阶、分散控制提供了理论基础。分布式计算机结构是实现大系统递阶与分散控制的重要手段,微型计算机的大量普及与使用加强了这种趋势的发展,城市交通控制系统递阶、分布控制结构正在受到愈来愈多的重视<sup>3,4</sup>。澳大利亚<sup>5</sup>、日本<sup>6</sup>、荷兰<sup>7</sup>及南斯拉夫<sup>8</sup>等国也正在建立并推广使用这一结构形式。图1所示悉尼市SCAT(Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic)系统便是由小型机和多微机构成的分布式递阶计算机系统。在该结构中,较上面的层具有较高的优先权。该系统还具有降级控制功能,以便在系统部分功能失调时,仍能维持不同程度的降级控制。这就大大地提高了系统的可靠性。对庞杂且随机干扰多的交通管理与控制系统,这将是极其重要的。

### 3. 交通网络递阶控制的模型及算法

交通过程是一类典型的动态离散过程。针对不同的交通状况,可建立不同的递阶控制模型及相应的算法。

(1) 中等流量交通网络模型

南斯拉夫 Mihailo Pupin 研究所的 Guberinic 和 Senborn<sup>9</sup> 建立了图论模型  $G = (N, A)$ ，式中  $N$  为节点集， $A$  为弧集。这里节点表示交叉路口，弧线代表相邻信号路口间的单向道路。对于每个弧线  $(i, j)$ ， $i \in N, j \in N$ ，交通过程的特征采用起步时差延迟函数  $f_{ij}(s_{ij})$  来描述。 $s_{ij}$  为路口  $i, j$  之间的起步时差。该系统的总延迟为目标函数。

$$D(s) = \sum_{(i,j) \in A} q_{ij} f_{ij}(s_{ij}),$$

式中  $q_{ij}$  为弧  $(i, j)$  上的交通流量。根据区域交通控制的定义，回路中的起步时差必须满足闭合条件。该模型以此闭合条件作为系统的线性约束条件，即：

$$\sum_{(i,j) \in F(L_k)} s_{ij} - \sum_{(l,m) \in R(L_k)} s_{lm} + \sum_{g \in N(L_k)} \phi_g(L_k) = n(L_k) \cdot C, \quad \forall L_k \in L,$$

式中  $L = \{L_1, L_2, \dots, L_k\}$  是回路集； $K = d - y - 1$  为回路数； $L_k$  为第  $k$  个回路； $d$  和  $y$  分别为弧线及节点数目。 $F(L_k)$  和  $R(L_k)$  分别是回路  $L_k$  中正向弧与反向弧的集合； $N(L_k)$  为  $L_k$  中的节点集； $\phi_g(L_k)$  则为  $L_k$  中节点  $g$  的内部起步时差。 $C$  为周期值； $s$  为起步时差矩阵； $\eta(L_k)$  则为整数周期数。控制算法采用对偶原理，并用两级递阶目标协调法求解。其对偶函数为：

$$Q(u) = \min_s L(s, u)$$

$$= \sum_{(i,j) \in A} \min_{s_{ij}} [q_{ij} f_{ij}(s_{ij}) + \lambda_{ij}(u) s_{ij}] + \sum_{k=1}^K u_k \left[ \sum_{g \in N(L_k)} \phi(L_k) - n(L_k) \cdot C \right],$$

式中  $u = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$  为拉格朗日乘子向量； $\lambda_{ij}(u)$  为  $u$  的线性函数。该问题的两级递阶算法示意图见图(2)。

该模型采用起步时差为控制变量，总延迟为目标函数，物理意义明确。 $f_{ij}(s_{ij})$  对中等流量交通过程作出了较满意的描述。由于将原来的高阶问题化为若干个一阶问题处

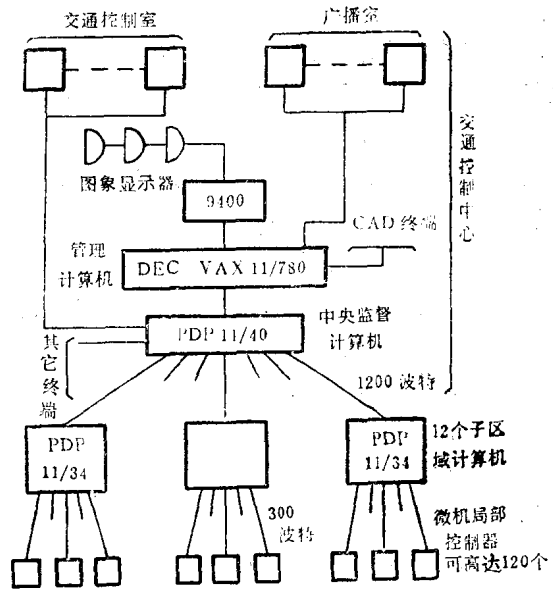


图1 SCAT系统分布结构示意图

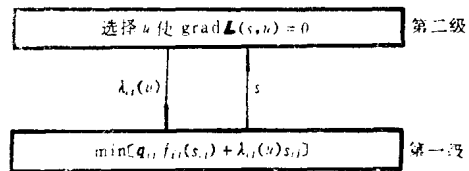


图2 二级递阶算法示意图

理,大大简化了计算.对于小区域递阶控制,这是一种较好的算法. Senborn<sup>[8]</sup>等进一步提出了对贝尔格莱德五个子区域进行协调控制的递阶结构和算法.系统的总目标函数取作:  $D = D_s + D_d$ . 式中  $D_s$  和  $D_d$  分别为子区域及边界连线延迟之和,  $D$  为系统总延迟. 这时的控制方案是保证全市总体目标函数最优的控制方案. 当它与子区域局部优化结果不一致时,便牺牲局部利益以确保全局利益. 这正是城市交通控制系统要实现的目标.

Menga 等则采用随机控制理论建立非饱和交通流量的自适应递阶控制模型<sup>[10]</sup>. 仅考虑邻近上、下游交叉口的相互影响,采用关联预估法实现网络的协调控制. 整个系统由微机网络来实现.

### (2) 过饱和交通网络模型

对于高峰小时的过饱和交通网络 Singh 和 Tamura 建立了递阶控制模型,采用时间延迟算法<sup>[11]</sup>. 以交叉口车辆排队长度为状态变量  $x(k)$ 、 $n$  维向量,绿信比为控制变量  $u(k)$ 、 $r$  维向量. 考虑到上一个路口的交通流输出正是下一个交叉口的延时输入,其延时长短由车速及路口间距决定,可以建立系统的纯时延元件模型. 网络的动态过程可由线性差分方程描述:

$$x(k+1) = Ax(k) + B_0 u(k) + B_1 u(k-1) + \dots + B_m u(k-m) + D(k),$$

式中  $D(k)$  为常数向量,  $m$  为延迟周期数. 考虑到网络的几何与交通特性,系统还必须满足强不等式的约束  $0 \leq x(k) \leq x_{\max}$  及  $u_{\min} \leq u(k) \leq u_{\max}$ . 若选择目标函数为二次性能指标,取  $Q$  和  $R$  为加权矩阵,则有:

$$J = \min \left\{ \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{2} \|x(k)\|^2 Q + \frac{1}{2} \|u(k) - u_0\|^2 R \right\},$$

式中  $u_0$  是要求的控制变量值. 取对偶函数为:

$$\phi(p) = \min_{x, u} L(x, u, p),$$

这里拉格朗日函数  $L(x, u, p)$  定义为:

$$L(x, u, p) = \sum_{k=0}^{n-1} \{ \|x(k)\|^2 Q + \|u(k) - u_0\|^2 R - p^T(k) [x(k+1) - Ax(k) - B_0 u(k) - B_1 u(k-1) - \dots - B_m u(k-m) - D(k)] \}.$$

可利用改进的目标协调法——时间延迟算法求解<sup>[12]</sup>,其方框图如图3. 由于将第一级问题化为对  $n+r$  个独立单变量求极小值,大大简化了计算. 当第二级梯度  $\nabla \phi(p)_{p=p^*} = e$  取值为0或足够小,便给出系统最优解. 这种改进的时延算法对具有不等式约束的纯时延问题的求解有其独到之处. 用该法对伦敦西区的三个交叉路口构成的繁忙路段进行计算,采用 IBM 370/165 计算机,运行 2.73 分钟、迭代 153 次获得收敛<sup>[13]</sup>. 显然,此算法尚不能直接应用于实际的实时控制系统.

Leininger 等对 Singh 的模型进行了改进<sup>[14]</sup>，仍采用二次性能指标，但目标函数为：

$$J = \frac{1}{N} \{w^T(k) R w(k)\},$$

$N$  为网络内车队数目， $R$  为半正定、对角权矩阵， $w(R) = x(k) + q(k)$  为扩展的排队长。车辆到达率  $q(k)$  的引入增加了系统的协调功能，减少了阻塞的加剧。但此法

仍要花费大量运算时间。为了寻求新的快速算法，Tamura<sup>[15]</sup> 将系统目标函数简化为线性关系：

$$J = \min_{u(k)} \sum_{k=0}^{n-1} \{c^T(k-1)x(k-1) + d^T(k)u(k)\}.$$

用多段线性规划方法，反复利用 Dantzig—wolfe 分解原理，将包括系统方程在内的约束条件分解为一个主问题，若干个主—子问题及一个子问题进行求解。曾用此法对大阪市的一个复杂路段进行实验，采用 NEAC 2200/700（运行时间比 IBM 370/165 慢 3 倍）运行时间 30 秒左右。与上述二次型指标方法相比，快 10 倍左右。但要将此算法用于实际控制系统，仍有困难。

### 三、城市交通控制系统的控制策略

#### 1. 固定配时控制策略

这是一种开环交通控制系统。不埋设车辆检测器，直接利用交通流历史统计数据进行离线优化处理，以便得出最优信号配时方案存入计算机内，对交通网络进行多时段（Time of Day）定时控制。

二十多年来，各国相继发展了一系列固定配时离线优化程序包 Combination<sup>[16]</sup>，MITROP<sup>[17]</sup>，SIGOP<sup>[18]</sup>，TRANSYT<sup>[19]</sup>。比较著名的是 SIGOP 和 TRANSYT。TRANSYT 优化程序包是英国运输及道路研究所 TRRL 的 Robertson 博士于 1967 年首先建立的。几经修改完善，目前已发展到 TRANSYT—8 版本<sup>[20]</sup>。美国联邦公路局也将其引进，并针对美国国情改写成为 TRANSYT—7 F 版本<sup>[21]</sup>，在美国推广使用，效果显著<sup>[1][22]</sup>。

TRANSYT 包括两个主要组成部分。第一部分为交通模型，用以描述网络中的交通流特性。这是一种宏观、确定性的流体模型。在整个路网中交通流满足连续性方程。由此可依次计算出路网中各连线交通量分布情况。当车辆到达交叉口时，受信号控制，遇红灯时车辆受阻排队，延迟或停止。遇绿灯时，则按一定规律离去，见图 4。考虑到不同车辆以不同速度行驶，必然导致车队驶离交叉口后发生离散现象。在连线下

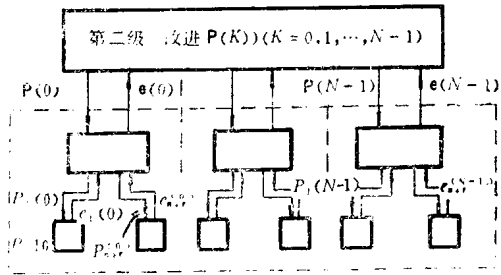


图 3 Tamura 时间延迟算法

游到达的部分交通量可由下述离散公式描述:

$$q'_{i+t} = Fq_i p + (1-F)q'_{i+t-1},$$

式中  $q'_i$  是在连线下游处第  $i$  步到达的交通量,  $q_i$  是在该连线上游之连线第  $i$  步驶出的交通量,  $p$  为驶入该连线交通量占上游连线驶出交通流的比例,  $t$  为连线上平均旅行时间的

0.8 倍,  $F$  为平滑系数, 可由公式  $F = \frac{1}{1 + 0.35t}$  确定. 根据此公式预测的车队型式与实际观测值很相似, 见图 5.

实际观测值很相似, 见图 5.

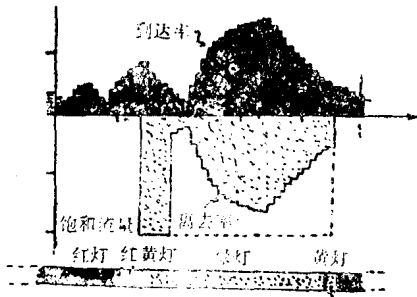


图 4 到达与离开交通示意图

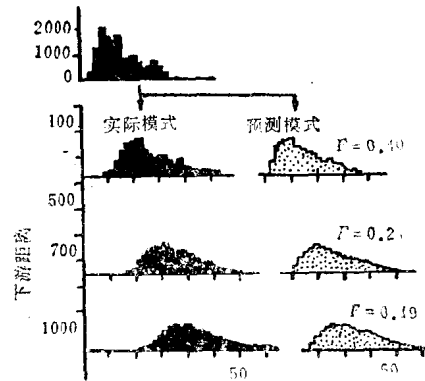


图 5 车队离散现象

TRANSYT 选择车辆延迟及停车次数的加权和为目标函数, 并折合成经济损失:

$$PI = \sum_{i=1}^n \left( W \cdot w_i d_i + \frac{K}{100} k_i s_i \right),$$

式中  $n$  为连线数目,  $d_i$ 、 $s_i$  分别为第  $i$  条连线上总延迟及停车次数总和,  $w_i$ 、 $k_i$  分别为加权系数.  $W$  为单位车辆小时延迟折合经济损失,  $K$  为每 100 次完全停车的损失.

TRANSYT 软件包的第二部分为信号配时最优化, 利用“瞎子爬山法”求解最优起步时差及绿信比(周期通常预先给定)等最佳控制信号. 为避免局部最优解并加速收敛速度, 各次迭代计算时采用不同步长.

固定配时控制简单、可靠、投资效益比高, 但不能适应交通流的随机变化. 特别是当交通流量数据过时后, 控制效果明显下降, 重新制定优化配时方案将会消耗大量人力、时间.

## 2. 动态响应或自适应控制系统

这是一种实时、在线、闭环控制系统. 在网络中埋设检测器, 以便实时采集交通流量、占有率(道路被车辆占用的时间比)等数据, 进行最优控制. 该系统结构复杂、投资多, 但控制效果并非理想<sup>[23]</sup>. 美国华盛顿特区于 1972 年建立了 UTCS 系统, 其第三代自适应控制系统 UTCS-3GC 效果反不如定期控制, 运行不到一年便停止了<sup>[24]</sup>.

分析其原因, 由于交通量的变化随机性强, 预测十分困难. 加之, 检测器是系统中最不可靠因素. 数据的不充分或不可靠均导致系统的失效.

英国 TRRL 研制的 SCOOT (Signal Cycle Offset Optimization Technique) 是一个较为成功的自适应控制系统<sup>[25, 26, 27, 28]</sup>. 这是在 TRANSYT 基础上发展起来的. 其模型及优化原理均与 TRANSYT 相同, 但由计算机进行实时、在线分析. 该实时仿真模型的特点是采用频繁小步长增量来改变控制参数, 这样可避免方案急剧变化引起的附加延迟, 也可克服长时间预测所面临的困境. SCAT 系统也是一种自适应控制系统<sup>[23, 29, 30]</sup>. 同样采用频繁小步长增量来改变信号控制参数. 周期的改变极限为  $\pm 6$  秒, 但绿信比及起步时差却是预置 4~5 个优化方案, 以供选择. 实时控制效果较好.

Segall 和 Baras 等采用随机控制理论对低饱和度交通网络的实时控制进行了研究<sup>[31, 32, 33]</sup>. 用离散点过程理论建立了系统的弓型接线模型, 并给出了系统状态最小方差/预测算子表达式. 由于该系统模型考虑较全面, 且容易在微机上实现其最小方差预测算法, 尽管该模型仅能实现次最优控制, 但为实时最优化控制打下了一定基础.

#### 四、综合城市交通控制体系

城市交通管理与控制系统是一个综合体系. 以上着重介绍城市网络信号交叉口的最优控制. 美国、日本、英国等国家自六十年代便开始发展高速公路监督和控制系系统<sup>[34]</sup>. 目前已经尝试将城市边缘的高速公路控制系统和城市网络的控制系统连为一个整体, 统一由一些控制中心来实现集中协调控制.

控制系统内, 计算机控制的可变交通标志, 根据交通状况, 可以标示速度限制、阻滞状态和最佳路线等, 从而对网络内交通流量进行诱导. 限制进入某些区域的交通流, 或在规定区域内行驶某些专门车辆, 以便改善交通要求, 防止交通阻塞.

为了解决大城市里小汽车引起的交通阻塞与混乱, 很多国家采取了公共汽车优先的措施<sup>[20, 21]</sup>. 另一个综合管理措施是采用停车换乘方式. 在城市区域发展快速交通系统, 在城市边缘建立停车换乘站作为中继点, 郊外则由私人小汽车实现门到门、户到户的交通. 城市交通控制系统正在由简单的信号控制系统发展为综合的管理系统.

#### 五、综合的社会效益

城市交通控制系统的收益明显, 且为社会提供综合经济收益. 该系统投资回收快. 例如东京银座区在 1966 年建立了日本第一个 ATC 系统 (35 个交叉口)<sup>[6]</sup>, 国家于 1964 年投资 5,200 万日元, 建成后每天收益 36.5 万日元, 全年仅以 320 天计算, 可收益 11,700 万日元. 即六个月便可收回投资总额. 城市交通控制系统的建立大大缩短了旅行时间, 减少了车辆延误. 大阪的 UTC 系统建成后, 缩短旅行时间 17%, 停车次数减少 31.2%. 悉尼市 SCAT 系统在早、晚高峰时可缩短旅行时间高达 30% 以上, 停车次数则减少 20~40%<sup>[30]</sup>. SCOOT 系统在原有定周期控制基础上仍能减少延误 12%.



这些性能指标的改进,不仅获得了巨大的经济效益,而且大大地改善了环境。悉尼市统计数字表明,车辆行驶速度改善 25% 后,将导致主干道分别减少 18% 的 CO 和 12% 的碳氢化合物排放。图 6 给出的大阪市统计数据<sup>[6]</sup>表明,城市交通控制系统的建立能极大地改善交通安全。SCAT 系统仅在 1977/78 年度便减少 1,000 起伤亡事故。若单位死亡、伤害、一般损伤折合经济损失分别为 14 万美元, 5900 美元及 880 美元,仅此项全年可减少损失 92 万美元。可见,交通控制自动化的实现为疏导交通,提高通行能力,节省能源,减少污染,改善安全提供了有力手段和重要措施。

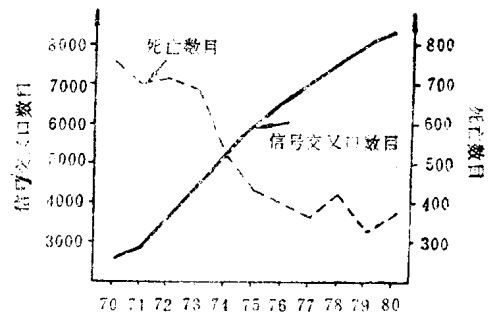


图 6 死亡数目与信号交叉口相互关系图

## 六、结束语

城市交通的现代管理和控制系统是多种技术的综合体,是实现城市现代化的重要手段。二十余年来,已取得了显著的成功和经济效益。初步实现了疏导交通,节约能源,改善环境和安全的多项综合指标。

如上所述,固定配时控制系统已发展得比较成熟。TRANSYT 系统建立的模型在一定程度上揭示了网络交通流特性,并在较大范围内受到实践检验。投资少、实施简易、性能价格比较高、易于推广使用。动态响应交通控制系统的理论及实施仍待进一步完善、发展。分布递阶式控制系统为整个网络的协调控制提供了有力的手段。特别是微机广泛使用的今天,建立多微型、小型交通控制网络,该发展方向应引起极大的关注,并进一步对模型及算法进行探讨。

本文论述的城市交通控制系统多为国外模型,交通流均以小汽车为主。一般说来该模型不适于中国。我国北京、上海、深圳等地正在积极着手建立城市交通管理与控制系统。如何汲取外来经验,根据本国国情,建立机动车、自行车混合交通模型,发展具有中国特色的城市交通控制系统与应用软件是中国城市交通管理与控制工作者急待解决的问题。

## 参 考 文 献

- [1] National Signal Timing Optimization project; Summary Evaluation Report, FHWA & Univ. of Florida, May(1982).
- [2] Patterson, D.J., Henein, N.A., Emissions from Combustion Engines and Their Control, Ann Arbor Science Publishers, (1972).