

变结构自校正模糊控制系统设计及其应用

权太范 宗成阁

(哈尔滨工业大学无线电工程系)

敖文仲

(黑龙江省财贸管理干部学院计算机系, 哈尔滨)

摘 要

本文以木段蒸煮控制为背景, 根据控制规则排序, 协调因子以及等级自校正等理论和算法, 提出了变结构自校正模糊控制系统设计方法。本文主要解决了乐观和悲观的混合决策以及控制量论域等级的自校正调节问题。应用本文设计方法, 设计了木段蒸煮微机控制系统。现场运行结果表明, 该系统性能良好, 效益显著。

关键词: 计算机控制; 模糊集; 自校正调节器

一、问题的提出

控制木段蒸煮温度是胶合板生产中的一道关键工序。目前国内一直采用手动方式进行控制, 这种方式往往不能满足工艺要求, 因而严重影响产品质量, 浪费原材料和能源。然而采用常规的PID调节器实现其控制, 将会碰到下述问题: (1) 蒸煮池供热系统的气压变化很大, 难以建立气压与PID参数之间的准确关系。尤其是在不同季节, 木段的初始温度和湿度均不相同。因而难以建立准确的数学模型。(2) 工艺曲线通常由升温段、恒温段、降温段三个工艺段组成。升温段和降温段主要控制温度变化率和终点温度, 而恒温段主要控制其温度和时间。显然, 定常的PID调节器是无法满足精度要求的。为解决这些问题, 笔者研制了从整体上能适应不同蒸煮池, 不同气压和不同工艺曲线的模糊控制系统。

传统的模糊调节器只利用了误差和误差变化率, 而且其控制变量论域等级是固定的。因此它不但无法使整个被控对象的稳态误差降到最小限度, 而且系统动态品质较差^[1]。若要提高精度, 则必然要增加可利用的信息量和量化级数, 从而导致规则搜索范围扩大, 增加推理决策时间。即系统实时性差。另一方面, 现场操作人员对每一个控制段的操作经验各不相同, 而且对不同树种、不同径级、不同季节, 其控制规律也不同。这就要求系统应具有根据不同条件选择相应的控制规律的变结构功能。为此本文提

出了变结构自校正模糊控制系统。实际应用表明,该系统完全满足设计要求。

二、变结构自校正模糊控制系统设计

系统原理如图1所示。

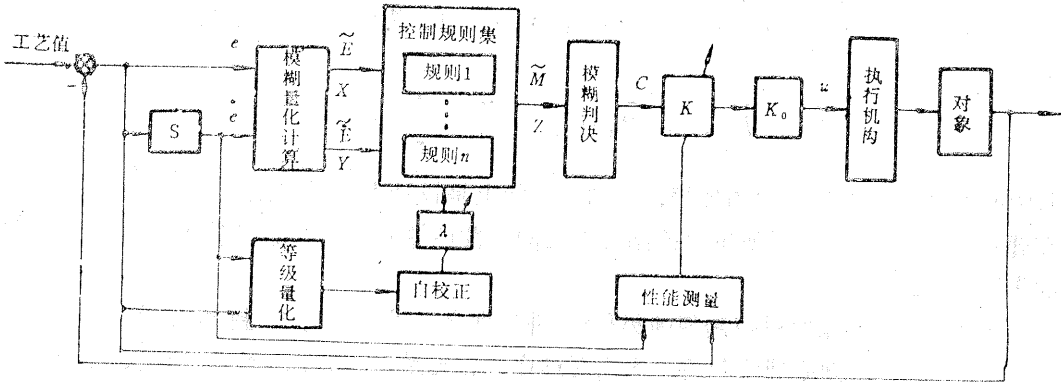


图 1 系统原理图

在图 1 中各符号的意义是:

$\tilde{E}$: 误差 e 经模糊化后, 论域为 X 的模糊集。

$\dot{\tilde{E}}$: 误差变化率 $\dot{e}$ 经模糊化后, 论域为 Y 的模糊集。

$\tilde{M}$: 模糊决策、论域为 Z 的模糊集。

C : 经模糊判决得到的控制量。

K : 调整系数。

K_0 : 控制量量化因子。

U : 实际控制量。

$\tilde{e}$: 误差 e 的等级量化值。

$\dot{\tilde{e}}$: 误差率 $\dot{e}$ 的等级化量值。

设系统输入为 $\tilde{E}_i$ 、 $\dot{\tilde{E}}_i$, 输出为 $\tilde{M}_i$, 则系统输入输出之间的模糊关系矩阵 $\tilde{R}_i$ 为

$$\tilde{R}_i = \tilde{E}_i \times \dot{\tilde{E}}_i \times \tilde{M}_i \quad (1)$$

系统总的模糊关系矩阵 $\tilde{R}$ 为

$$\tilde{R} = \bigcup_{i=1}^l \tilde{R}_i \in u_n \times m \quad (2)$$

关于 $\tilde{R}_i$ 的计算, 在[2]中对15种算法作了分析比较, 这里取直积运算。
下面分三部分论述系统设计方法。

1. 求 $\tilde{R}$ 的加权法

式(2)可理解为对每一个控制规则的无加权处理。然而在实际系统设计中总有一个“着眼点”，并非把现场提出的所有控制规则同等对待。为反映这种“着眼点”，需要引入权空间。

设归一化加权阵为 $W(w_i) \in R^l$ ，且 $\sum_{i=1}^l w_i = 1$ ，为此将式(2)改为

$$\tilde{R} = w_1 \tilde{R}_1 \cup w_2 \tilde{R}_2 \cdots \cup w_l \tilde{R}_l = \bigcup_{i=1}^l w_i \tilde{R}_i \quad (3)$$

其中 w_i 为第 i 个控制规律的加权。式(3)实际上是设计人员对控制规则集的二次处理。即通过选择 w_i 大小，反映每个控制规则之间重要性差异。显然加权系数越大，其规则的作用越强。

为确定 w ，首先要对控制规则集 $\{r\}$ 进行排序。设给定的控制规则集为 $\{r\} = \{r^1 r^2 \cdots r^l\}$ 。根据心理学分析，人们对排序，首先是从两两比较开始的。因此，在 $\{r\}$ 中任取一对元素 r^i 和 r^j ($i \neq j$)，并以 $f_{ri}(r^j)$ 表示 r^j 相对于 r^i “有吸引力”的指标，则可根据文^[3]提供的表求得 $f_{ri}(r^j)$ ， $i=1 \cdots l$ ，然后根据相关函数法^[4]定义相对优先度函数：

$$f(r^i/r^j) = \frac{f_{rj}(r^i)}{\max_i(f_{rj}(r^i), f_{ri}(r^j))} = \min\left(1, \frac{f_{rj}(r^i)}{f_{ri}(r^j)}\right) \quad (4)$$

最终根据相对优先阵 F ，容易得出 $\{r\}$ 的排序。这种排序仅仅是给出了权阵大小的排序。因此，与传统的LQG调节器设计问题一样，具体的加权系数必须由系统调试来确定。比如可用综合评价^[5]方法来确定。

2. 求系统模糊响应的混合算法

若给定由 $\tilde{E}_i$ 和 $\tilde{E}$ 构成的列向量 $\tilde{A}(a_i) \in u_{1 \times n}$ ，则根据模糊推理原理，系统模糊响应 $M(m_i)$ 应为：

$$M(m_i) = \tilde{A} \circ \tilde{R} \in u_{1 \times m}, i=1, 2, \cdots, m \quad (5)$$

且 M 的第 i 个元素 m_i 为：

$$m_i = \bigvee_{j=1}^n (a_j \wedge^* r_{ji}) \quad (6)$$

式(6)中模糊算子 $\vee^*$ 、 $\wedge^*$ 分别表示广义“或”和广义“与”运算，对它有不同的定义^[2]。这里取：

$$a \vee^* b = a \vee b = \max(a, b) \quad (7)$$

$$a \wedge^* b = a \wedge b = \min(a, b) \quad (8)$$

通常取 mix-man 合成，即

$$m_i = \bigvee_{j=1}^n (a_j \wedge r_{ji}) \quad (9)$$

这种先min后max运算,是一种保守的悲观决策^[6],记作min-max决策,反之,先max后min运算,即

$$m_i = \bigwedge_{j=1}^n (a_j \vee r_{ji}) \quad (10)$$

是一种大胆的乐观决策^[7],记作max-min决策。以往的决策都是要么用前者,要么用后者,分别独立使用的。为克服这种决策的局限性,并统筹兼顾保守(谨慎)和大胆(冒险)的决策,引入协调因子 λ ^[8],并修正式(6)为

$$m_i = (1-\lambda) \left[\bigvee_{j=1}^n (a_j \wedge r_{ji}) \right] + \lambda \left[\bigwedge_{j=1}^n (a_j \vee r_{ji}) \right] \quad (11)$$

在式(11)中, $0 \leq \lambda \leq 1$ 。若取 $\lambda=1$,则变为max-min决策,反之若取 $\lambda=0$,则变为min-max决策。可见 λ 大小直接反映了人对两种决策的协调程度。希望当误差小时,以max-min决策为主,而当误差大时,以min-max决策为主。另一方面根据心理学的实验证明,人对多因素的综合决策,恰好是保守的信息处理器。基于上述思想,经模拟仿真, k 时刻 λ 可取

$$\lambda(k+1) = \frac{1}{2r_{\max}} [(1-\lambda) \overline{e}(k) + \lambda^2(k) \dot{\overline{e}}(k)] + 0.5 \quad (12)$$

且 $\lambda(0)=1$,式中 $k=0, 1, 2, \dots$, $r_{\max}$ 为 $e(k)$ 的最大量化范围。 $\overline{e}(k)$ 、 $\dot{\overline{e}}(k)$ 分别为 $e(k)$ 、 $\dot{e}(k)$ 的量化值。

3. 增益自校正规律

在模糊调节器工程设计中,控制量论域等级是比隶属函数及现场控制规则更难于确定的一个问题。它的大小直接关系到系统的快速性、精度以及实时性要求。显然,固定控制量论域等级的控制,其自适应能力很差。为了自适应调节控制量论域的等级,引入量化等级调节系数 K ,并把实际控制量表示为

$$U = K_0 \cdot K \cdot C \quad (13)$$

式中 C 是由模糊判决得到的控制量,其符号决定电动阀门的方向, K_0 为实际控制量量化因子,对给定的系统而言,它是一个常数。可见,通过调节 K ,可实现控制量论域等级粗细的调节。若 K 大,相当于等级量化粗,反之,等级量化精。一般地说,增大 K 能减少稳态误差,从而提高调节精度、响应速度及鲁棒特性,但 K 过大引起超调。反之,减小 K 能减小超调,提高稳定度。但 K 过小会使调节时间加长。为自动调节 K 的大小,设IAE准则为

$$J_k = \frac{1}{n_0 e_{\inf}} \left(\sum_{i=1}^{n_0} |e_{k-i}| \right), \quad (k = n_0 + 1, n_0 + 2, \dots) \quad (14)$$

且当 $i \leq 0$ 时, 有 $e_i = 0$

其中 e_{inf} —系统所要求的最低精度;

e_i — i 时刻系统控制误差;

n_0 —滞后次数。

可见当控制满足系统精度时, 必有 $J_k \leq 1$, 而只有超出精度范围时, 才有 $J_k > 1$ 。 J_k 越大, 说明误差部分和越大。为避免大滞后, n_0 不宜过大, 可取3~5。根据上述分析, 本系统取

$$K = \begin{cases} 0 & J_k \leq 0.5 \\ J_k & 0.5 < J_k \leq 2 \\ 2J_k & J_k > 2 \end{cases} \quad (15)$$

初始阶段, 即 $k < n_0$ 时, 取 $K = 1$ 。由式(15)可见, 当系统平均误差小于给定精度一半时, 不进行控制、而误差大于给定精度一倍以上时, 强迫增加控制量。

三、系统硬件结构及应用软件

1. 系统硬件结构

如图2所示, 本系统以微型计算机为核心, 由传感器、模拟多路开关、变送器、

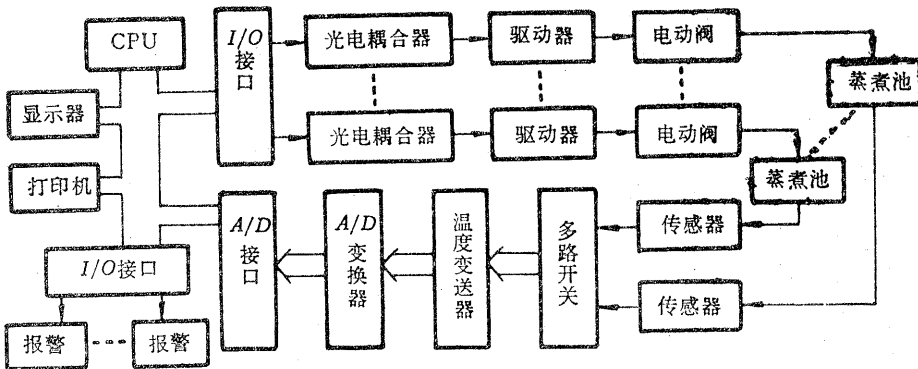


图2 系统硬件结构框图

A/D变换器、驱动器及电动阀门等基本部件组成。并带有打印机、显示器、报警器及阀位指示等辅助设备。而且在I/O接口与驱动器之间接入了3EDK25B型光电耦合器, 以使微型机与执行部件之间进行有效的电磁隔离。本系统在CPU统一管理下, 经模拟多路开关转换, 可对13个蒸煮池进行巡回检测和控制。

2. 应用软件

本系统应用软件主控程序框图如图3所示, 其中初始化部分主要包括设定各I/O接口的工作方式和初始状态, 设置各通道对应参数的初值, 建立各通道工作标志等内容。数据处理部分主要包括样本采集、数字滤波、电压-温度转换等程序模块。模糊控制计算部分为各通道通用程序模块。阀位控制是根据在初始化中建立的工作标志, 各通道分时

进行的。

四、运行结果及分析

本系统蒸气压力变化范围为 0.8~8 个大气压,而选用的电动阀全程开启或关闭时间为 300 秒。在投入运行该系统前,需要确定采样周期 T_s 和各变量动态变化范围 $[\alpha, \beta]$ 。

1. 虽然采样周期 T_s 本身并不是模糊控制特有的问题,但现场调试表明:采样周期大小直接影响系统精度。如图4a所示,当 P 为0.8~8个大气压范围时,若取 $T_s=1$ 分钟,则误差为 ± 0.2 度。若取 $T_s=10$ 分钟,则误差为 ± 0.8 度。综合考虑系统精度和电动阀门等执行部件寿命等因素,本系统取 $T_s=3$ 分钟。

2. 如图4b所示,误差 e 和误差变化率 $\dot{e}$ 的动态范围 $[\alpha, \beta]$ 的整定,直接影响控制决策的强弱。若取 $[\alpha, \beta]$ 比实际情况大,就相当于采用了低分辨率模糊隶属函数,失去了强决策,从而系统响应慢,严重时产生稳态误差。反之,若取 $[\alpha, \beta]$ 比实际情况小,就相当于采用了高分辨率隶属函数,从而失去了柔软决策,将引起较大的超调,严重时会引起振荡。若难以测试误差动态变化范围,则 $[\alpha, \beta]$ 可取系统设计精度的3~5倍。本系统经现场调试,对于 e 取 $\alpha_e = -3, \beta_e = +3$,对于 $\dot{e}$ 取 $\alpha_{\dot{e}} = -2, \beta_{\dot{e}} = +2$ 。

由此可见,适当地选择 T_s 和 $[\alpha, \beta]$ 对提高系统精度是极为重要的。

表1表示了不同协调因子 λ 情况下的系统误差。由表1可见,自校正调节 λ (见式(12))的系统精度比悲观决策($\lambda=0$)或乐观决策($\lambda=1$)系统高一倍多。这是因为

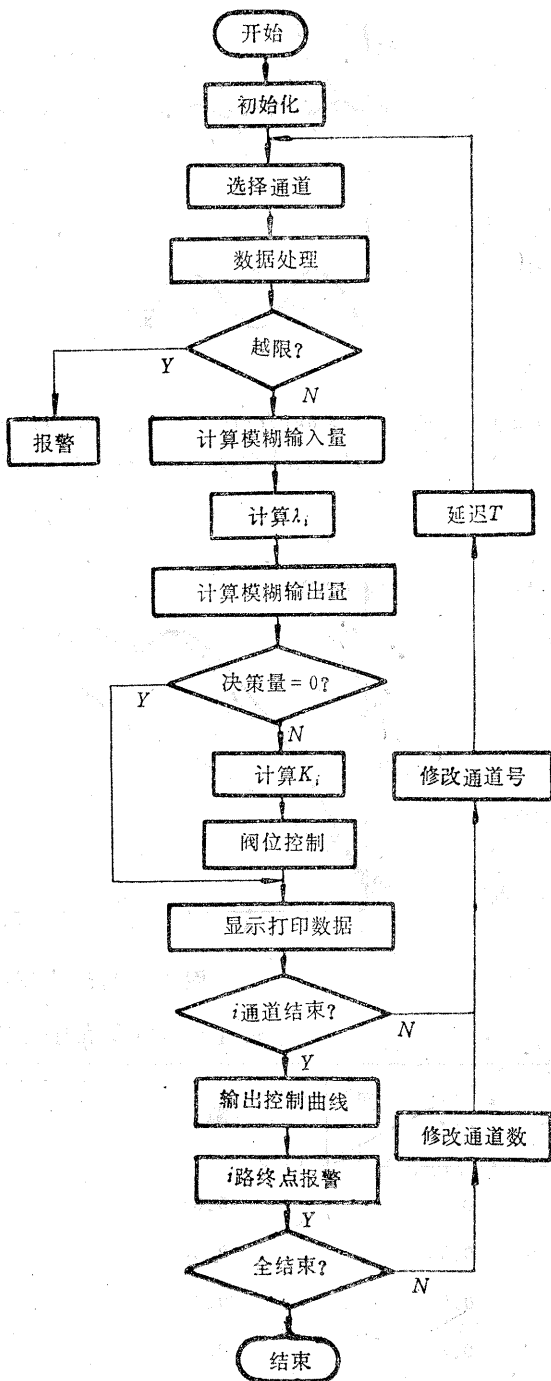
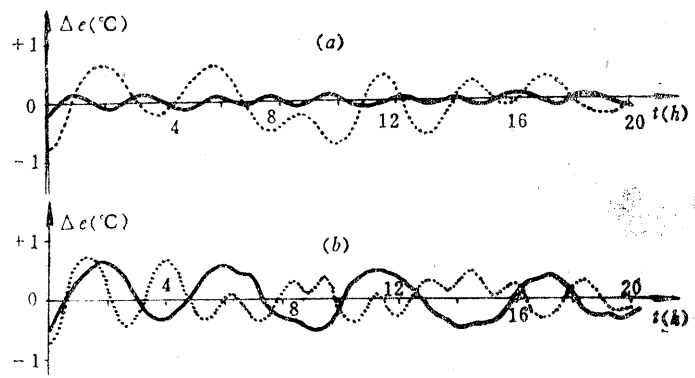


图3 主程序框图



(a) 实验条件: $P \geq 6 \text{ kg/cm}^2$, $K=2$, $[\alpha, \beta] = \pm 3$, $\dots T_s=10 \text{ 分}$ $-T_s=1 \text{ 分}$
(b) 实验条件: $P \geq 0.8 \text{ kg/cm}^2$, $K=3$, $T_s=10 \text{ 分}$, $\dots [\alpha, \beta] = \pm 1$, $-[\alpha, \beta] = \pm 4$

图 4 $T_s[\alpha, \beta]$ 对系统精度的影响

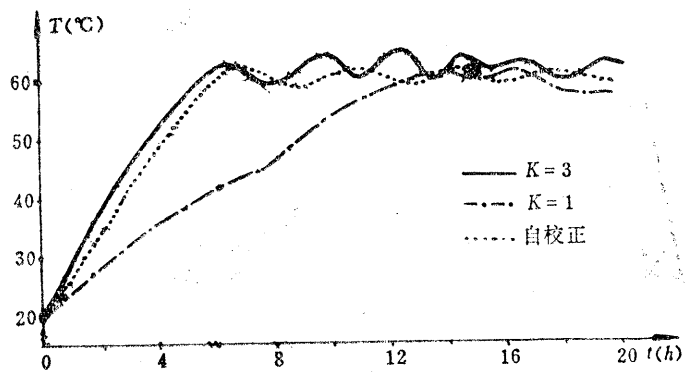


图 5 自校正控制器控制曲线

表 1 不同 λ 值对应的系统统误差

λ	段			
		升温段	恒温段	降温段
0		0.68	0.43	0.56
0.35		0.27	0.21	0.34
0.5		0.38	0.41	0.39
0.8		0.40	0.52	0.43
1		0.46	0.67	0.44
自校正		0.21	0.16	0.18

协调因子 λ 方法主要是根据误差大小自动调节悲观和乐观控制的混合程度，从而更全面

地刻划了对系统模糊程度的清晰度的缘故。

在图 5 中示出了控制量论域等级对系统精度的影响。为测试调节控制量论域的效果, 在 8~14 小时段加入了恒定为 8 个大气压的蒸气, 而在 14~20 小时段加入恒定为 0.8 个大气压的蒸气, 其余段的蒸气压力为 4~6 个大气压。由图中可见, 在 8~14 小时段, 因蒸气压力大, 所以当 $K=3$ 时, 就引起了严重超调。而在 14~20 小时段, 因蒸气压力太小, 所以当 $K=1$ 时, 系统出现了固定偏差, 且收敛速度很慢。但是自校正方法对蒸气压力变化却具有一定的自适应能力, 在 6~20 小时段满足工艺要求 (60 度)。

五、结 束 语

模糊控制系统本质上是一个非线性系统。要全面研究这类系统的性质, 如稳定性、收敛性等, 并不是轻而易举的事。本文研究是模糊控制理论在工程中应用的一种尝试, 并认为变结构自校正控制是实现性能鲁棒的一种有效途径。

参 考 文 献

- [1] 权太范、宗成阁、敖文仲, Fuzzy 控制技术在过程控制中应用及前景, 控制与决策, 2, 1, (1988), 8—11.
- [2] Mizumoto, M., and Zimmerman. H. J., Comparison of Fuzzy Reasoning Methods, Fuzzy Sets and System, 8, 3, (1982), 253—283.
- [3] Seaty. T. L., Exploring the Interface Between Hierachies Multiple Objectives and Fuzzy Sets, Fuzzy Sets and System, 1, 1, (1978), 57—68.
- [4] Simura. M., Fuzzy Sets Concept in Rank-ordering Objects, J. Math. Anal. Appl., 43, 4, (1973), 717—733.
- [5] 王子才、权太范, 设计最优调节器的混合法, 自动化学报, 12, 1, (1986), 96—99.
- [6] Bellman. R. E and Zadeh. L. A., Decision-making in a Fuzzy Environment, Manage. Sci, 17, 2, (1970), 141—164.
- [7] Yager. R. R., Multiple Objective Decision-making Using Fuzzy Sets, Int. J. Man-Mach. Stud. 9, 2, (1977), 375—382.

A Variable Structure Self-tuning Fuzzy Control System and Its Application

Quan Taifan, Zong Chengge

(Radio Engineering Department, Harbin Institute of Technology)

Ao Wenzhong

(Computer Department, Heilongjiang Finance and Trade Management Cadre College, Harbin)

Abstract

A decision method for the variable structure self-tuning fuzzy

control system is presented here by applying such theories and algorithms as control rules ordering, coordination factor, and grade self-tuning principle, etc., with an application to the wood steaming control as its original goal. The mix-policy problem of optimism against pessimism and the self-tuning adjustment problem of grade volume control, are solved mainly in this paper. With the use of the present method, a practical microcomputer-controlled system is constructed for the wood steaming control. And the on-the-spot measured results show that the system serves the purpose satisfactorily and its engagement may yield a notable economical benefit.

Key words—Computer control; Fuzzy Set; Self-tuning regulator

《城市交通的计算机控制和管理》评介

刘永清

杨剑波

(华南理工大学自动化系, 广州) (上海交通大学自控系)

《城市交通的计算机控制和管理》已由测绘出版社出版(1988)。作者是徐吉万和徐冬玲。该书是我国第一本有关城市交通计算机控制和管理著作。作者在书中介绍了他们在城市交通的计算机控制和管理理论成果与实践经验, 并汇集了国内外交通控制和管理方面的大量资料, 简述了近年来国内外日益严重的交通问题, 针对这些问题和我国的交通流特点、现有的道路状况和技术条件, 提出了一系列控制策略和管理措施。

该书第1~4章讨论了交通运输、自动化和城市发展; 第5~8章介绍了交通控制系统的软件和硬件实现, 即描述了城市交通网络计算机控制和管理信号系统; 第9章介绍公共汽车路线的优化和调度; 第10章探讨了自行车交通及其管理控制; 第11章讨论了机动车交通控制系统和高速公路交通流的计算机控制和管理。

该书对缓解及解决我国城市交通问题, 实现城市交通管理的现代化无疑是有很大的现实意义的。同时, 该书也是将系统工程理论、自动控制理论及计算机技术综合运用于实践的一个尝试, 因而在学术上也有重要意义及参考价值。