

一种新型的自学习智能式城市 交通实时控制系统¹⁾

王桂珠

(天津大学自动化系 天津 300072)

贺国光 马寿峰

(天津大学系统工程研究所 天津 300072)

摘 要

本文介绍了作者与合作者们研制成功的城市交通智能式实时控制系统(简称 TICS)的硬件结构框图,从交通工程学、计算机技术、系统结构和控制方式等角度分析了它的基本原理,给出了包括主控回路和学习回路的控制原理框图,从交通状态推理和实时控制变量推理两个方面介绍了它的推理机制,说明了它的学习机制,最后简述了对周期、相位差、绿信比的处理原则。

关键词: 城市交通实时控制系统,智能控制,学习控制,区域协调控制。

1 引言

城市交通控制系统是一种对象不确定的、对控制的实时性要求高、结构十分复杂的大系统。对象的不确定性和结构的复杂性决定了系统建模和模型求解的难度,而控制的实时性要求在交通流状态迅速变化条件下能尽快求出最优(或次最优)的控制变量,要求控制算法简便。传统的控制方法无法解决这些难题。

目前世界上已推出的实用的城市交通控制系统主要有两大类。一类是以澳大利亚的 SCAT (Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System) 为代表的方案选择式系统;另一类是以英国的 SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) 为代表的方案生成式系统^[1]。前者是人为地设置方案(配时参数),按一定规律选择当时出现交通状态“适用”的方案。这类系统实时性较好,但方案的优劣取决于系统管理操作者事先判断的能力。后者基于动态仿真加优化,控制效果取决于仿真模型的精度。鉴于交通流过程的不确定性和复杂性,不可能建立高精度的模型,特别是在中国及其它发展中国家,城市交通流更为复杂(机动车非机动车混行,车型、车种、车质混杂,道路情况复杂)条件下,更增

1) 本文获天津市自然科学基金资助。
本文于1993年7月14日收到

加了精确建模的难度，因此这类系统虽然原理上似乎比前者完善，实际上控制效果并不好，控制的实时性也不如前者。从原理上讲，这两类系统都有缺欠。近年来人们致力于研究基于新的控制原理的城市交通实时控制系统^[2,3]。

天津大学系统工程研究所、天津市交通工程研究所和天津大学自动化系采用智能控制原理研制成功了城市交通智能式实时控制系统 (Urban Traffic Intelligent Real-Time Control System, 以下简称 TICS)。该系统于 91 年 9 月通过鉴定。本文介绍系统原理、推理机制和学习机制。

2 TICS 的基本原理

TICS 的硬件结构框图如图 1 所示。它是一个涉及多门学科的系统，从不同角度出发可以归纳出各门学科中相应的原理：

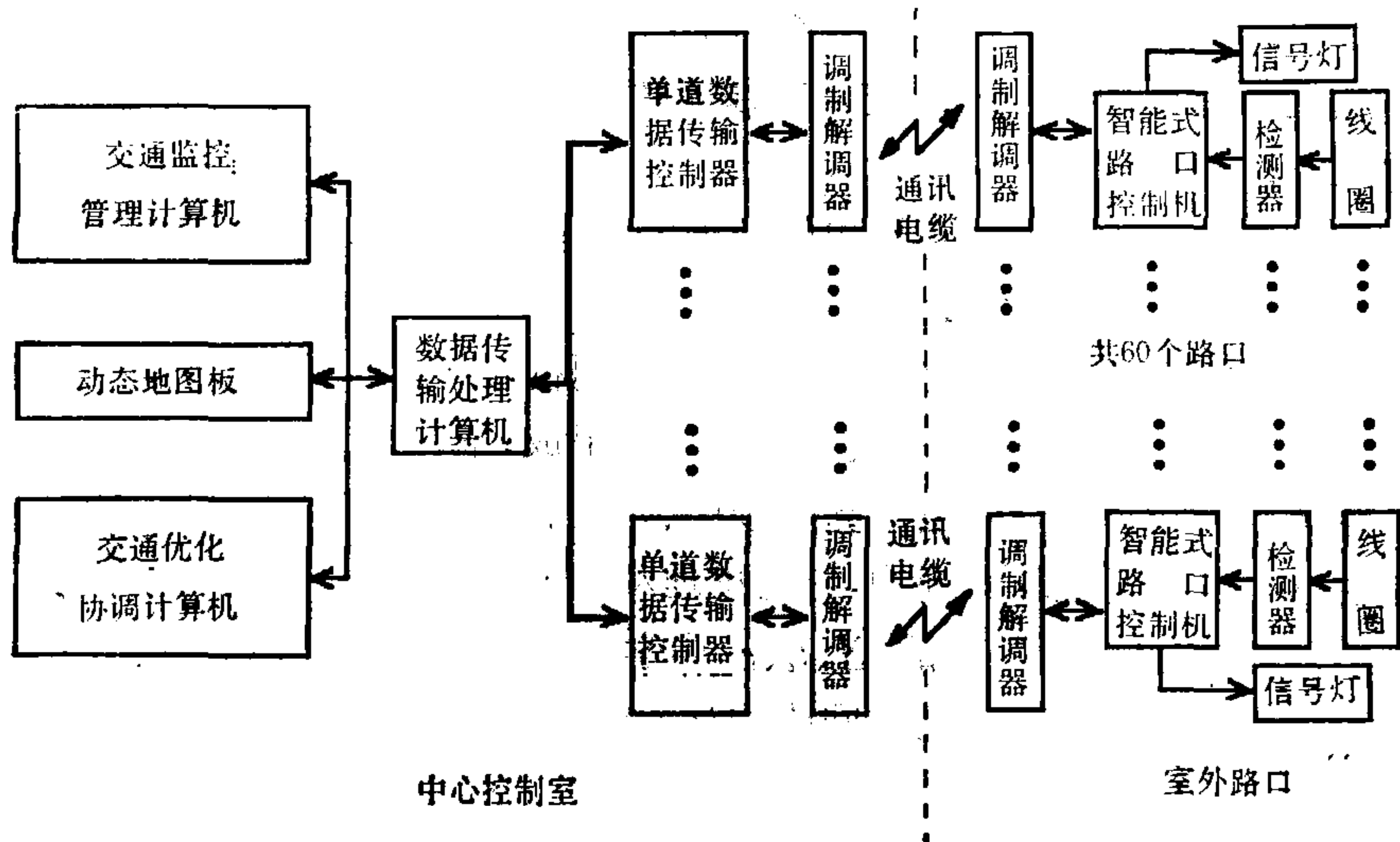


图 1 TICS 的硬件组成

从交通工程学讲，它是区域协调控制系统。也就是说，考虑到整个被控区域交通流的协调，实现全区域的次最优。

从计算机技术看，TICS 是一个多 CPU 多种软件衔接的计算机网络系统，是计算机网络在线实时控制系统。

从控制系统的结构看，它是一个三级递阶控制系统。即：整个控制区域包括 60 个交叉路口，将其分成若干个子区，各子区之间靠调整各子区的周期 $C(Cycle)$ 来协调。每个子区由若干个路口组成，各路口之间用相位差 $O(Offset)$ 来协调，同一个子区内各路口的周期是相同的。每个路口不同方向的车流用绿信比 $S(Split)$ 来协调。区域—子区—路口形成三级递阶协调控制的结构。控制变量集合为 (C, O, S) 。

从控制原理看，TICS 是一个基于知识的自学习智能控制系统，这是与现有的其它交通控制系统本质不同之处。TICS 的控制原理框图可粗略地表示成图 2。

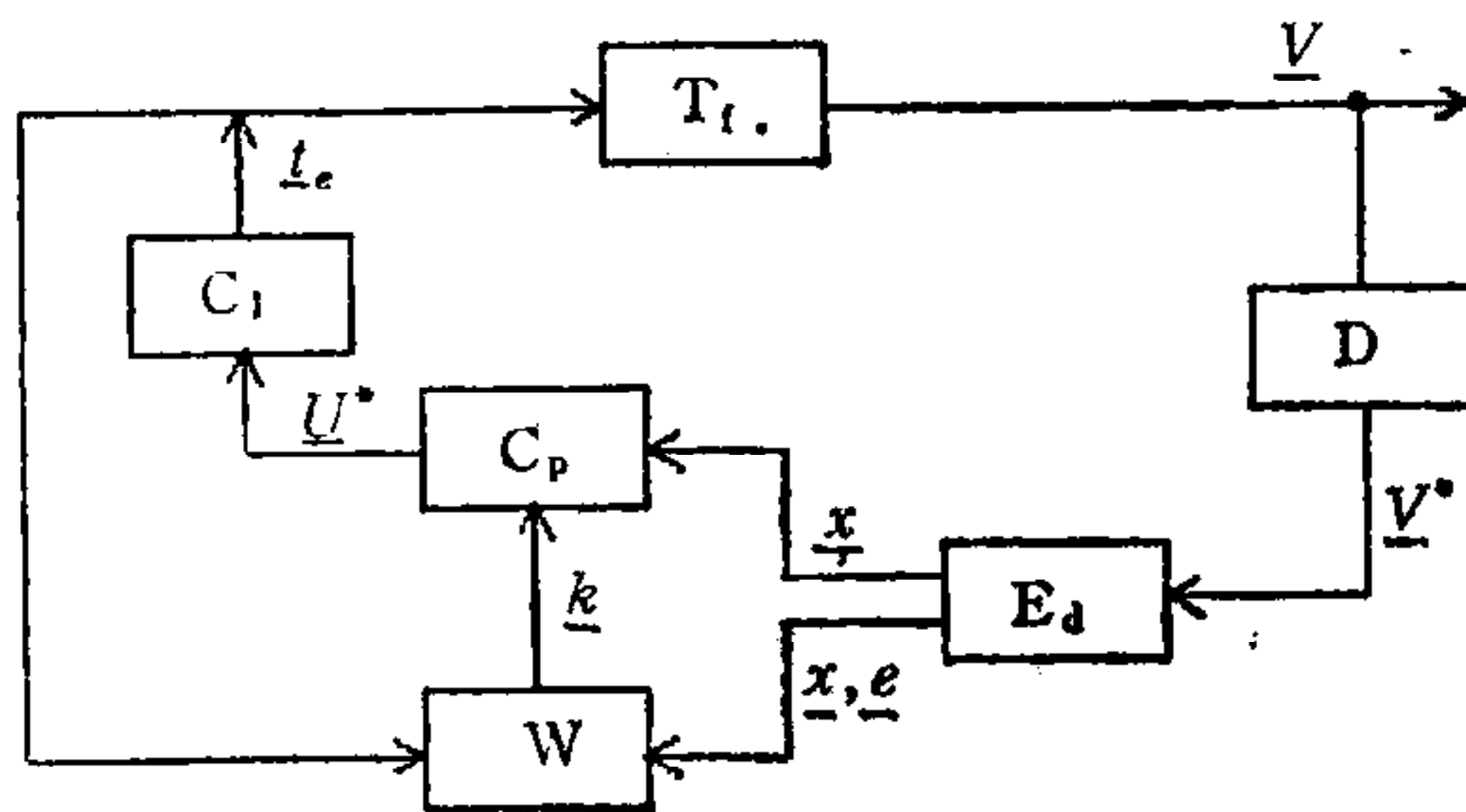


图2 TICS 基本原理

图2中符号说明如下:

T_f : 被控交通流,指整个被控区域的机动车流和非机动车流。

D : 车辆检测子系统,包括整个被控区域所有的机动车检测器和非机动车检测器及数据传输接口。它的输出是经过检测器识别出来的交通流数据 V^* 。

E_d : 交通数据处理子系统。它从交通流数据 V^* 中处理识别出交通流状态和评价出控制效果 e 。

C_p : 控制推理机。它依据识别出的交通流状态 X 和学习机 W 提供的知识 K 推理出最优控制量 u 。 $u = (C, Q)$ 。

C_1 : 路口控制机,它包括所有灯控路口的控制机,每台路口控制机本身又是按照自学习智能式原理构成的装置,由单片机及相应部件组成,详见^[4]。它的输出直接控制各路口各方向红绿黄三种指挥信号灯色点亮的顺序、时间长短及相互之间关系,即 $t_c = (C, Q, S)$, S 是由 C_1 自学习推理得到的,它的推理和学习依据了 C_p 提供的 u 。

W : 学习机,它从不断得到的 X, t_c, e 中学习获取控制策略知识 K 。

整个系统包括二个回路: 主控回路和学习回路。主控回路 $T_f \rightarrow D \rightarrow E_d \rightarrow C_p \rightarrow C_1 \rightarrow$

根据当时出现的交通状态及时推理出适用于这种交通状态的历史上最优的控制量来,以保证控制的实时性和最优性。 $T_f \rightarrow D \rightarrow E_d \rightarrow W \rightarrow C_p \rightarrow C_1 \rightarrow$ 是学习回路。它的任

务是基于事后检验原理不断地实测控制效果来不断地校正控制策略集,获取交通状态与控制策略之间对应关系的知识,从而保证控制的最优性和系统的鲁棒性 (Robustness)。

3 TICS 的推理机制

TICS 采用的推理结构与一般知识系统、专家系统类似^[5],可表示成图3。不同之处在于对交通控制系统涉及到的变量的处理上。下面分别介绍交通状态推理和控制变量推理。

1) 交通状态推理

我们把各个路口各个方向各条车道的机动车与非机动车到达、排队等待以及通过路口的情况组合称之为交通状态 X 。这种情况组合维数很大。为了既科学合理又迅速地实

现交通状态识别, 我们把交通状态规范化成标准的交通状态, 把标准状态量化取值存于交通状态模式库中. 把第 i 个路口第 k 周期在交通状态采集时刻出现的实际交通状态记作 $X'_i(k)$, 它是一个 n 维向量. n 取决于路口布局 (方向数、车道数).

$$X'_i(k) = [X'_{i1}(k), X'_{i2}(k), \dots, X'_{in}(k)]$$

举例说: $X'_{i1}(k)$ 代表第 k 周期第 i 路口第 1 方向第 1 车道实际到达的车辆数, $X'_{i2}(k)$ 代表第 k 周期第 i 路口第 1 方向第 1 车道实际排队等待的车辆数, $X'_{i3}(k)$ 代表第 k 周期第 i 路口第 1 方向第 1 车道实际通过的车辆数, $X'_{i4}(k)$ 代表第 k 周期第 i 路口第 1 方向第 2 车道实际到达的车辆数…….

为方便起见, 不重复记述路口和周期, 简记为

$$X' = \{x'_j\} = X'_i(k), \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

为规范化, 我们把每一状态分量 x'_j 都划分成若干个等级, 设对 x'_j 划分成 m 级. x'_j 应规范成 m 个等级中的一个标准状态. 这种对应关系如下:

$$\text{IF } x'_j \geq d_j(l) \text{ AND } x'_j < D_j(l) \text{ THEN } x_j = l \quad (2)$$

式 (2) 中 $d_j(l)$ 和 $D_j(l)$ 分别为第 j 个交通状态分量第 l 级标准状态的下限值和上限值. x_j 为第 j 个实际交通状态分量对应的标准状态分量, 即 $x'_j \rightarrow x_j$, $X' = [x'_j] \rightarrow X = [x_j] \quad j = 1, 2, \dots, m$, $X' \rightarrow X$. 图 2 中 E_d 的状态识别单元不断地从 D 提供的 V^* 中推理识别出 X 来.

2) 实时控制变量的推理

C_p (参见图 2) 完成实时控制变量的推理. 它依据 X 从知识库中推理出适合 X 的最优控制变量 $u = (C, Q)$, 推理规则考虑的因素可用下式表示:

$$u = F(X, G, T_d, W_e) \quad (3)$$

(3) 式中: G 是道路网的几何尺寸参数.

T_d 是工作日、时段划分等与时间计划有关的参数.

W_e 是与天气有关的参数.

F 为智能算子.

控制推理机 C_p 采用前向推理 (数据驱动推理) 产生式系统原理. 各条推理规则都用 IF...THEN... 的形式描述. 最优控制变量来源于知识库.

4 TICS 的学习机制

知识库中的知识 (适合各种交通状态的最优控制变量集) 是由 TICS 不断自学习生成并更新的. 学习机 W 的框图可表示成图 4.

E_d 中控制效果评价单元提供的评价结果 e 是获取和更新知识的依据. 不断保留实际检验过的控制效果好的控制变量, 不断淘汰更新掉经检验控制效果不好的控制变量. W 提供给 C_p 中知识库的知识向量 K 是交通状态与最优控制变量 u^* 的对应关系, 即 $K = \{X \sim u^*\}$. 学习规则涉及到生成和更新知识的有关条件, 涉及到知识向量的调整方

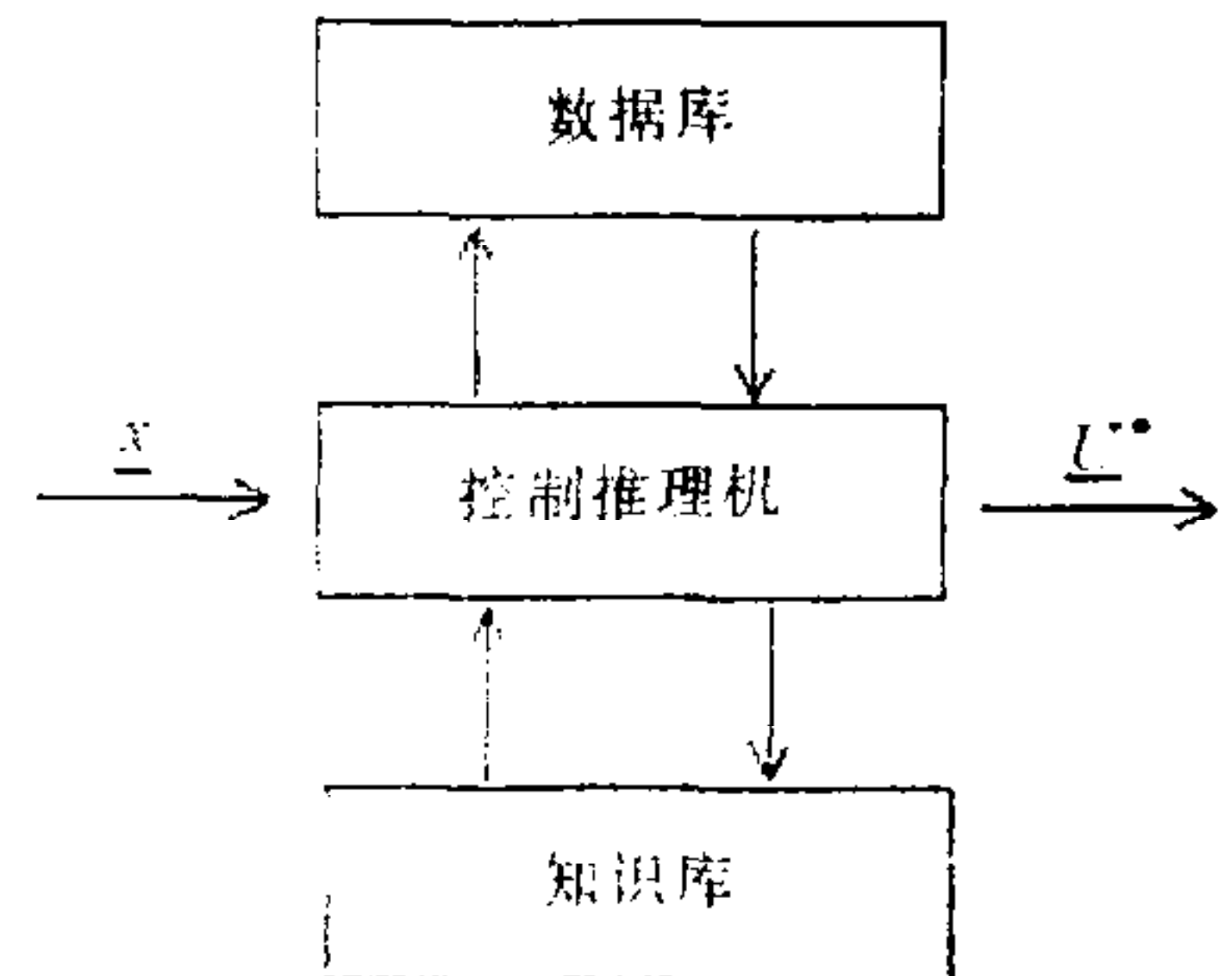


图 3 TICS 的推理结构

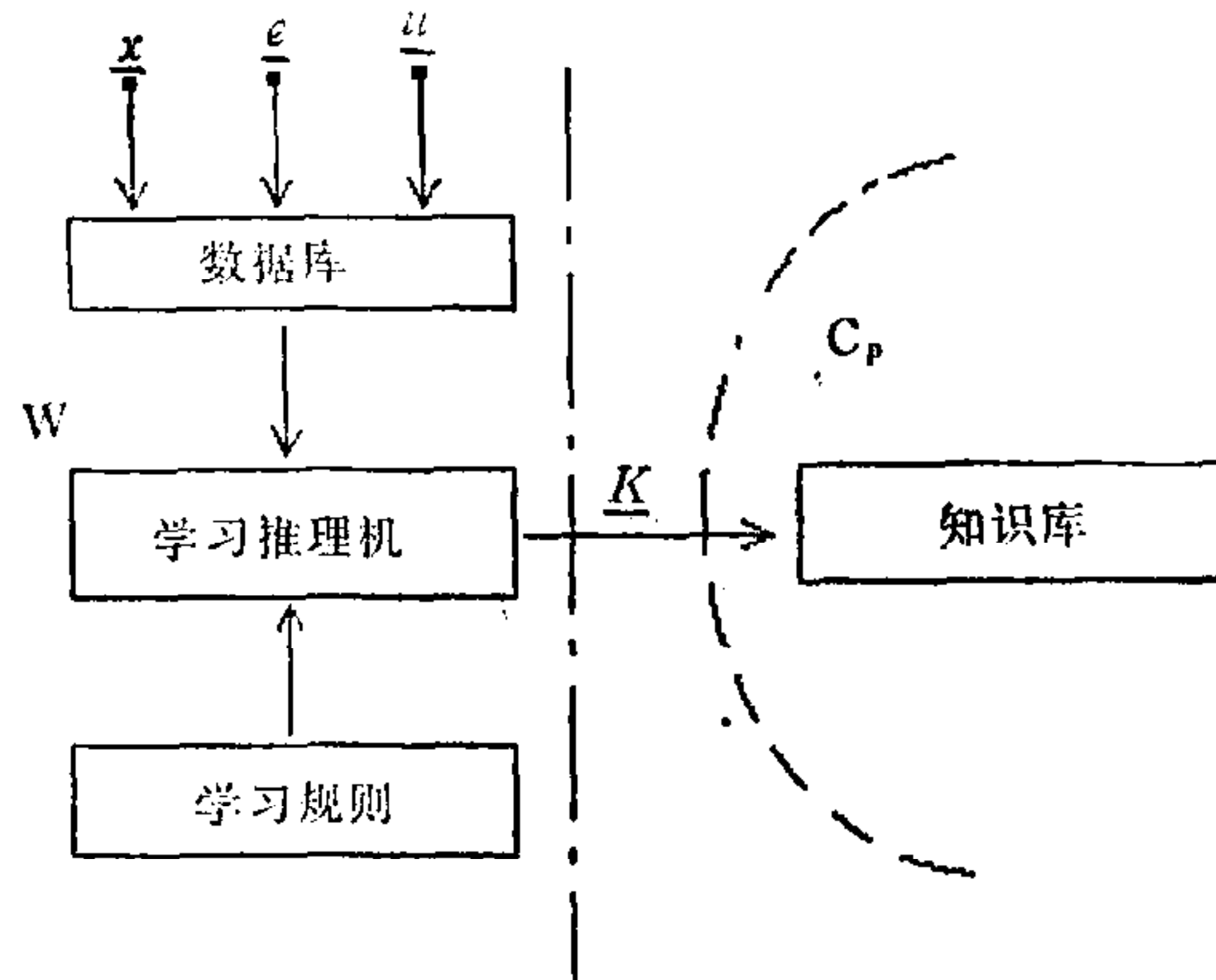


图4 TICS 的学习结构

向和幅度的有关规定等。数据库存放着生成或更新知识的参考数据及学习过程的初始化参数等。学习机也采用前向推理 IF...THEN...产生式系统原理。

5 对周期、相位差、绿信比的处理

显然,三类控制变量 C 、 Q 、 S 之间是相互关联的。几乎不可能做到使这三类控制变量之间完全解耦。我们用图5表示这三类参数分步确定的顺序和相互作用关系。

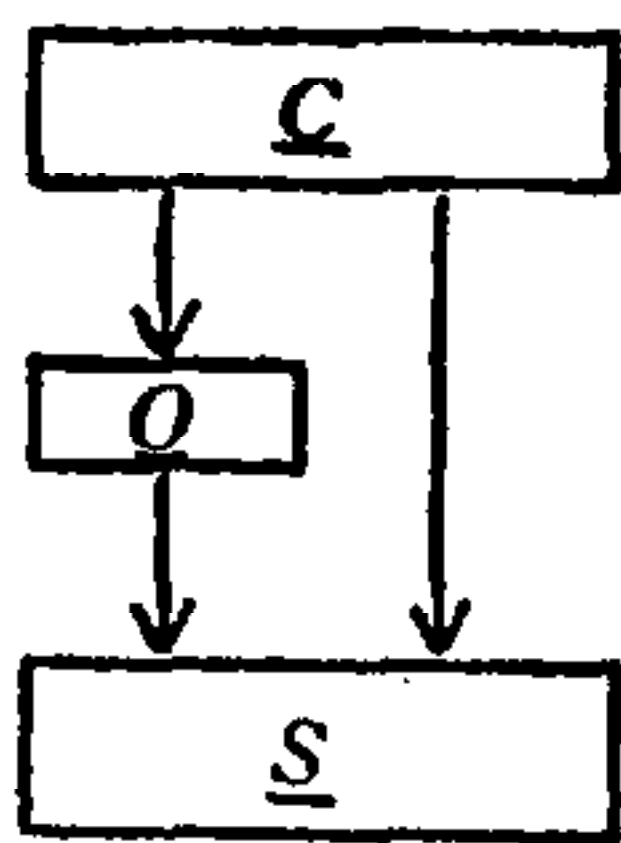


图5 分步确定三类控制变量示意图

先确定周期 C ；其次确定相位差 Q ，在确定 Q 时考虑到已确定好的 C ；最后再确定绿信比 S ，确定 S 时考虑到已确定的 C 和 Q 。推理机和学习机中的数据库、知识库、规则集等均按 C 、 Q 、 S 分割成三部分，分别完成各自的推理和学习任务。为了充分利用各路口控制机的资源和保证 S 的实时性， S 的推理和学习是在路口控制机中实现的。 C 和 Q 的推理和学习由设置在交通控制中心的交通优化协调计算机完成。

6 结束语

TICS 于 1991 年 8 月在实验室内系统联机运行成功。TICS 所属的具有自学习智能式功能的路口控制机从 1990 年 10 月起即在现场连续运行，使用至今效果很好。我们正在做整个系统推广应用的有关工作。我们认为 TICS 有以下主要特点：

1) TICS 无复杂的纯数学模型,只有推理模型,与复杂的数学模型相比,这不仅使计算简便迅速,而且能更准确有效地描述交通状态和控制变量之间的本质关系。

2) 由于具有特点 1, TICS 具有很好的实时控制性能,可以做到根据本周期出现的交通状态及时地提供一套最优控制变量来指挥(控制)交通流。这是 SCAT、SCOOT 等系统无法做到的。

3) TICS 的实时控制变量都是系统本身在现场实际运行获得生成的, 经过实际检验证明是最优的, 从而保证了 TICS 的最优性。

4) 随着交通环境的变化, TICS 可不断更新控制变量 (不断修改交通状态与控制变量之间的对应关系), TICS 具有很好的鲁棒性 (Robustness)。

5) TICS 既有机动车检测器又有非机动车检测器, 控制变量的推理考虑了非机动车与机动车混行的影响。因此, 它适用于象中国城市道路交通这样复杂的情况。

TICS 是一个投入了 50 人年研制成功的软硬件相结合的实际控制系统。限于篇幅本文仅对其核心部分做一原理性简介。软硬件研制方面的技术成果将另文总结。

致谢 本文作者向参与 TICS 研制的所有合作者致谢。

参 考 文 献

- [1] 全永桑. 城市交通控制. 人民交通出版社: 北京, 1989.
- [2] Elahi S M, Radwan A E, Goal K M. An application of expert systems to traffic signal control. *Applications of advanced technologies in transportation engineering*, August 1991, U.S.A. 258—262.
- [3] Ambrosino G, Boccassi G et al. Knowledge-based techniques in traffic control systems, in *IEEE Colloquium on applications of expert systems in road transportation*, January, 1988, London.
- [4] 贺国光等. ML-1 型路口交通信号自学习智能式控制机. *仪器仪表学报*, 1993, 14(2): 127—131.

A NEW MACHINE-LEARNING URBAN TRAFFIC CONTROL SYSTEM

WANG GUIZHU

(*Department of Automation Tianjin University 300072*)

HE GUOGUANG MA SHOUFENG

(*Institute of Systems Engineering Tianjin University Tianjin 300072*)

ABSTRACT

A new intelligent urban traffic real-time control system has been designed and completed by the authors and their colleagues. This paper analyses its basic principle from the point of view of transportation engineering, computer science, system structure and control method, etc., The schematic diagram of the system including the main control loop and the machine learning loop is given. Its inference process (traffic flow state inference process and real-time control variable inference process) and machine-learning rules are described. The treatment principle of cycle, offset and split is introduced.

Key words: Urban real-time traffic control system, intelligent control, machine-learning control, area co-ordinated control



贺国光 1942年生。1964年毕业于天津大学。1981至1983年为德国鲁尔大学访问学者，从事自适应控制研究。现为天津大学系统所教授。1984年以来主要从事交通系统工程、城市交通控制系统的研究，已发表论文40多篇。



王桂珠 1942年生。1966年毕业于天津大学，后留校任教，现任自动化系自动检测与控制教研室副主任、副教授。主要研究兴趣为信号处理与识别技术，已发表论文多篇。