

文章编号: 1002-0268 (2003) 06-0121-05

城市交通信号控制的进展

刘智勇¹, 梁渭清²

(1. 五邑大学, 广东 江门 529020; 2. 京安通讯交通设施有限公司, 广东 三水 528100)

摘要: 简单回顾城市交通信号控制系统的发展过程; 重点介绍 SCOOT (英国)、SCATS (澳大利亚)、UTOPIA (意大利)、RHODES (美国)、OPAC (美国) 和 PROLYN (法国) 系统的现状和进展, 分析其特点和不足; 通过分析指出: 提高城市交通控制系统性能的关键是高质量的交通量检测数据和交通模型, 显然, 把先进的智能控制技术、信息融合和处理技术与交通管理技术结合起来, 才是城市交通信号控制系统发展的方向。

关键词: 城市交通系统; 实时自适应交通控制; 最优化; 人工智能技术

中图分类号: U491.5⁺¹ **文献标识码:** A

Advances in Urban Traffic Signal Control

LIU Zhi-yong¹, LIANG Wei-qing²

(1. Wuyi University, Guangdong Jiangmen 529020, China;
2. Jing'an Traffic Communication Equipment Co., Ltd, Guangdong Sanshui 528100, China)

Abstract: The development process of urban traffic signal control systems is simply reviewed, and the actuals and evolvement of traffic systems such as SCOOT (UK), SCATS (Australia), UTOPIA (Italy), RHODES (USA), OPAC (USA) and PROLYN (France) are introduced. The above systems' characteristics and shortages are analyzed. This paper points out that the keys for improving the performances of urban traffic signal control system are high quality detection data of traffic volume and traffic models. The development of urban traffic signal control system depends on integration of the advanced intelligent control technology, information fusion and processing technology and traffic management.

Key words: Urban traffic systems; Real-time adaptive traffic control; Optimization; Artificial intelligent technology

0 引言

自 1868 年英国伦敦首次使用燃气色灯信号以来, 道路交通信号控制经历了近百年的发展。1963 年, 加拿大多伦多市建立了一套使用 IBM650 型计算机的集中协调感应控制系统, 标志着城市交通信号控制的发展进入了一个新阶段^[1]。随后, 在计算机技术、检测器技术和网络信息技术迅速发展的同时, 交通控制技术也取得了显著进展, 并经历了从点控制到线控和面控、从定时控制到感应控制和实时自适应最优控制的过程。目前, 比较有影响的交通信号控制系统主要有 SCOOT、SCATS 等。然而, 交通控制技术的发展并

不是一帆风顺的, 美国联邦公路局曾于 1975 年研制出基于自适应控制理论的第三代城市交通信号控制系统并在华盛顿特区投入使用, 但遗憾的是, 该系统的运行效果较差甚至不如固定配时控制系统^[1], 结果, 联邦公路局不得不在 1976 年拆除了该系统。此后近 30 年的时间, 交通工程界对城市交通系统的实时自适应最优控制基本上持否定态度。

有人总结了交通系统实时自适应最优控制失败的原因^[2]: (1) 当时的通讯网络技术还不能满足系统的需要, 一旦没有可靠的通讯网络, 系统的基础将不复存在; (2) 最优控制策略收敛慢, 以致于响应时间太长, 从而使控制失去意义; (3) 系统的价格和维护费用

收稿日期: 2002-09-29
基金项目: 教育部高等学校骨干教师计划资助项目 (教技司 [2000] 65 号), 广东省自然科学基金资助项目 (010486)
作者简介: 刘智勇 (1961—), 男, 河南夏邑人, 教授, 博士, 研究领域为智能交通控制系统。

太高,由于当时电子信息技术水平限制,还不能生产制造出性价比比较高的系统。20世纪90年代,随着城市交通问题的日趋严重,人们对城市交通信号的控制策略进行了重新思考,交通管理者们面临的挑战是:如何实时优化信号配时使得道路能够最大限度地发挥通行能力,从而缓解快速增长的交通需求。电子信息技术特别是网络技术的发展和普及为解决这一问题提供了契机。事实上,借助先进的计算工具,人们对交通流特性的认识也不断深入,因而出现了很多新的交通流建模方法和交通控制技术,可以相信:新技术新方法将在交通信号控制系统中起越来越重要的作用。

1 交通控制的发展状况

从空间关系上划分可把交通信号控制分为单路口控制(也称点控)、干道控制(也称线控)、网络控制(也称面控)。从控制原理上划分可把交通控制分为定时控制、感应控制和自适应控制。其中,定时控制为开环控制,感应控制和自适应控制为闭环控制。需要指出的是,自适应控制是比感应控制更高级的一种控制方式。感应控制往往是对单路口而言的,其主要特征是:某相位的绿时根据车流量的变化而改变。自适应控制通常把交通网络作为一个不确定性系统,能够连续测量其状态,如车流量、停车次数、延误时间、排队长度等,逐渐了解和掌握对象,把它们与希望的动态特性进行比较,并利用差值以改变系统的可调参数或产生一个配时方案,从而保证不论环境如何变化,均可使控制效果达到最优或次最优。一般来说,城市各交叉路口处的交通流是相互关联的,并且是非确定性的,因此,有理由认为,实施交叉路口间的协调自适应控制能够获得更好的效果。正是基于这一理由,一些比较成熟的系统都能完成交通信号协调自适应控制。

英国、澳大利亚、美国、法国、意大利和加拿大等西方发达国家在交通控制应用研究方面投入了大量的人力、物力,取得了一系列成果。其中比较成功的有:SCOOT(英国)、SCATS(澳大利亚)、UTOPIA(意大利)、RHODES(美国)、OPAC(美国)和PRO-DYN(法国)。

1.1 SCOOT系统^[3]

SCOOT(Split, Cycle and Offset Optimization Technique:绿信比、周期和相位差优化技术)是由英国运输研究所(TRL—Transport Research Laboratory, 1990年代TRRL改名为TRL)在TRANSYT基础上研制的自适应控制系统,该系统于1975年研制成功,并在英

国城市Glasgo进行现场试验,取得了较好的效果。1990年代SCOOT系统进行了多次升级,其最新版本为4.4版,其版权为TRL、PEEK公司和西门子公司共同拥有。SCOOT已经历了20多年的发展,全世界共有超过170个城市正运行着该系统。文献[1, 2]详细介绍了该系统的主要特点。新版本主要增加了如下功能:

(1) 新增公交车辆和紧急车辆优先功能。通过带有车型识别能力的检测器或自动车辆定位(AVL)系统检测公交车辆和紧急车辆,给出优选通行权。

(2) 新增交通信息数据库ASTRID模块和综合事故检测INGRID模块,能够对交通数据进行滤波、分析,并将处理好的数据用于参数的优化;还能够实时检测事故,为交通管理部门提供服务。

SCOOT系统的不足是:交通模型的建立需要大量的路网几何尺寸和交通流数据,因而费时费力;绿信比的优化依赖于对饱和度的估算,并且以小步长变化对其进行调整,因此有可能不足以及及时响应每个周期的交通需求。

1.2 SCATS系统^[4]

SCATS(Sydney Co-ordinated Adaptive Traffic System:悉尼协调自适应交通系统)是由澳大利亚新南威尔士道路和交通局(RTA)于上世纪70年代末研制成功的,从1980年起陆续在悉尼等城市安装使用。SCATS系统一直由Plessey公司负责销售。2000年Plessey公司的交通业务部与Philips Projects公司合并成立了Tyco系统集成公司,接管了SCATS系统的经营业务。据报道,RTA正推出SCATS的升级版SCATSII。目前,世界上大约有50个城市正在运行SCATS系统。文献[1, 2]详细介绍了该系统的主要特点。需要指出的是:SCATS系统未使用交通模型,本质上是一种实时方案选择系统,因而限制了配时方案的优化程度;另一不足是,因检测器安装在停车线处,难以监测车队的行进,故相位差的优选可靠性较差。

1.3 SPOT UTOPIA系统^[5]

SPOT(Signal Progression Optimization Technology:信号连续优化技术)UTOPIA(Urban Traffic Optimization by Integrated Automation:基于集成自动化的城市交通优化)系统是意大利Mizar Automazione公司开发的分布式实时交通控制系统。其最早版本于1985年安装在意大利的Turin市,取得了比较满意的效果。目前,Peek公司拥有SPOT UTOPIA系统的版权。该系统在意大利、挪威、荷兰、瑞典、芬兰和丹麦等国应用较多,在英国和美国只有个别城市使用了该系

统。SPOT/UTOPIA 系统的特点如下。

(1) SPOT/UTOPIA 实际上是由两个部分组成^[25]。SPOT 独立工作时是一个小型的分布式交通控制系统, 一个 SPOT 系统管理的路口一般不超过 6 个。每一个路口机必须安装一个 SPOT 单元(要求为一 386 以上的工控机), 可以与交通灯控制机(TLC)及其它路口机通信, 因此各路口的通信方式是对等的。UTOPIA 是一个面控软件, 在联网的中心计算机上运行。路口数较多时, 可划分若干子区, 每个子区是一个 SPOT 系统, 然后由 UTOPIA 协调组成区域控制系统。

(2) 每 3s 路口机之间的数据交换一次, 同时各路口机在滑动时间窗(Rolling horizon)上进行一次优化, 该时间窗的长度为 2min。路口机优化时主要考虑路口状态(指各个方向的排队长、转向率和饱和度等)、延误、停车次数、公交和特种车辆优先、路段的剩余通行能力、行人过街请示及中心机的区域控制方案。这意味着每次优化的结果只能运行 3s, 这种方式被称为“开环反馈控制”。

(3) 系统在当初设计和开发时就考虑了公交优先的功能, 因而其控制目标是: 在尽可能保证公交车不遇红灯的情况下, 使私家车总的旅行时间最短。为了实现这一目标, 该系统在最小化目标函数中, 引入权重的概念。最大权重赋给公交车在路口的损失时间项。

(4) 系统为了保证子区控制的最优性和鲁棒性, 采用的“强相互作用”概念, 即本路口的目标函数要考虑相邻路口的状态及区域控制级给出的约束条件。

(5) UTOPIA 要为整个网络进行最优控制决策, 它接收各 SPOT 单元发来的路口状态信息, 确定子区的划分、子区的最佳周期(每个子区在同一周期下运行)、最佳权重等。该系统除了与 SPOT 通信外, 还

可通过 TCP/IP 接口与更上一层的系统(如交通指挥中心)交换信息。UTOPIA 在运行过程中还建立了一个实际状态信息数据库, 以便在系统实时系统故障时, 可进行后备方案选择。

欧洲的公共交通比较发达, 而 SPOT/UTOPIA 系统的公交优先功能比较完善, 因而应用较多。但 SPOT/UTOPIA 系统在美国内布拉斯加州 Omaha 市的应用情况并不理想^[2], 一方面说明美国的公共交通并不发达, 该系统发挥不了其特长; 另一方面说明该系统在交通信号控制策略上还存在不足, 需要进一步改进。

1.4 RHODES 系统^[7]

RHODES (Real-time, Hierarchical, Optimized, Distributed, and Effective System; 实时、递阶、最优化的、分布式、且可实施的系统) 系统是由美国 Arizona 大学 P. Mirchandani 等人于 1996 年开发成功并陆续在美国亚利桑那州的 Tucson 市和 Tempe 市进行了现场测试, 结果表明该系统对半拥挤的交通网络比较有效。现在大约有 20 个路口运行着该系统。该系统主要有以下几个特点。

(1) RHODES 在硬件上是一个两级结构, 即中心计算机级和信号控制器级, 从这一点来看与 SCOOT 系统类似; 但它把系统控制问题分解为 3 层递阶结构, 路口控制层、网络控制层和网络负荷分配层, 如图 1 所示。在路口控制层主要根据测得的交通流及各种约束条件进行交通流预测、相位和绿时的控制, 这种控制每秒钟都要进行; 在网络控制层主要对车队的行驶情况进行预测, 从而为网络中的各个路口建立协调约束。这种预测每 200s 至 300s 进行一次。在网络负荷分配层主要进行总的交通需求预测。先进的出行

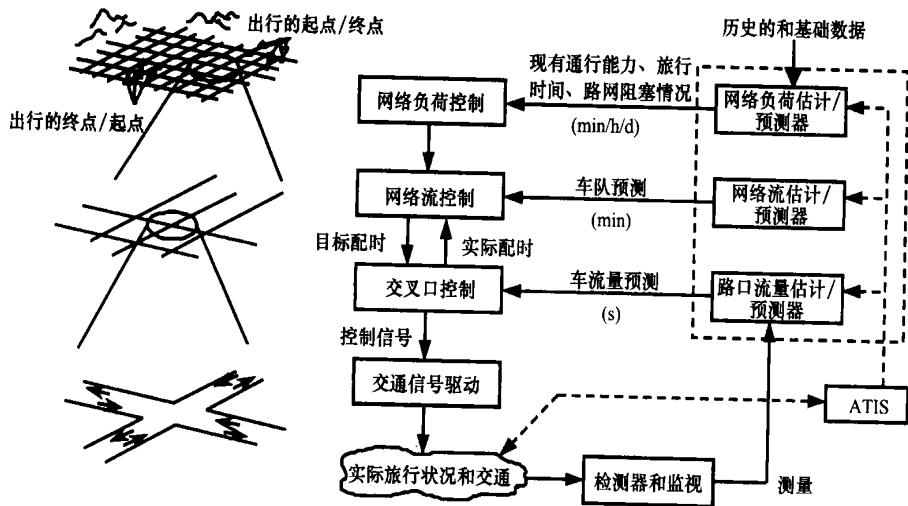


图 1 RHODES 系统结构图

信息系统 (ATIS) 和动态交通流分配中的许多技术可以在这一层实施。

(2) RHODES 系统主要由路口控制参数优化模块、各方向交通流预测模块、路网车流优化模块、车队预测模块和参数及状态估计模块组成。各模块之间均有信息交换。

(3) 该系统在预测方法上进行了深入研究, 为了保证预测的准确性, 它把车辆检测器安装在路口的车辆进口处, 本路口某方向到达车辆可由上游路口 3 个方向 (左转、右转和直行) 上检测到的车流量进行预测, 通过本路口检测器可对预测值进行检验和校正, 从而使预测尽可能准确。

(4) 提出了一种相位的可控优化概念 (Controlled optimization of phases), 根据到达车辆的预测值, 用动态规划 (DP) 的方法找出最优相序和相位长度。为了实时应用动态规划, RHODES 采用滑动时间窗以减少计算量。

(5) 提出了一种称为“实时绿波带” (Realband) 的概念, 根据当前的车队预测值, 综合考虑网络上各方向车队可能发生的冲突, 用决策树法进行网络优化并实时生成行进绿波带, 其宽度和速度值能使区域目标函数达到最优, 即延误和停车次数最少。

(6) 提供了与交通分析软件的接口, 可离线评价配时方案的优劣或作为研究工具。

1.5 OPAC 系统^[8]

OPAC (Optimization Policies for Adaptive Control: 自适应控制的最优策略) 是一个分布式实时交通信号控制系统, 由美国 PB Farradyne 公司和 Massachusetts Lowell 大学共同开发。最早的版本为 OPAC-1, 于 1979 年完成; 以后陆续将版本升级, 其最新版为 OPAC-5, 于 2000 年完成。1986 年以前的版本只能离线进行控制方案配时, 1986 年后推出实时控制版。1996 年, 在美国新泽西州的 18 号公路对 OPAC 系统进行了现场测试, 取得了满意结果, 特别是对很拥挤的交通干线比较有效。OPAC 系统主要有以下几个特点。

(1) OPAC 引入有效定周期 (VFC—Virtual Fixed Cycle) 的概念, 即允许每一个路口的周期长度在一个规定的时间和空间范围内变化。其好处是, 信号控制机有比较大的回旋余地以应付本路口的交通请求, 另外, 也为两路口间的行进中的车队改善其通行带保留了一定的协调能力。

(2) OPAC 在硬件上为分布式结构, 每个路口机由信号控制机和一台 586 以上的 PC 机组成, 路口机

之间可以对等通信, 或通过中心计算机通信。中心计算机由 2 到 3 台 PC 机组成。在控制上分为 3 个层次: 最低层在 VFC 的约束下, 对未来的信号配时进行优化; 中间层对相位差进行优化; 最上层进行信号同步, 找出最优的 VFC。

(3) 是一个真正的分布式系统, 中心计算机只完成 VFC 的优化, 当相邻路口之间通信失败时可通过中心计算机进行对等通信。路口机完成车队预测、相位优化以及排队长、停车次数和延误等参数或状态的估计和检测。路口机在进行优化时, 主要考虑 VFC 约束和可操作性约束。

(4) 检测器安装在各个车道上游离停车线 812s 车程的地方, 便于准确预测车流量、车队行进等数据。

(5) 采用先进的优化方法和控制技术, 如动态规划、自校正、自调整算法等。为了保证实时性, 采用滑动时间窗方法。

OPAC 系统的应用时间较短, 控制算法比较复杂, 对调试人员的要求较高; 另外, 其 9 600bps 的通信速率较低, 对等通信只能 30s 完成一次, 这对实时性可能会产生影响。

1.6 PROLYN 系统^[9]

PROLYN (Dynamic Programming: 动态规划) 是一种实时交通控制系统, 由法国 CERT ONERA 于 1980 年代末开发成功, 后由法国 Garbarini 公司商品化。该系统主要在法国的 3 个城市使用。严格地说, PROLYN 是一种用于城市交通控制的实时方法。该方法的特点是:

(1) 需要建立状态方程模型。

(2) 在滑动时间窗 (该时间窗的长度为 75s, 每 5s 为一个单位) 上, 把基于先验概率的 Bayesian 估计技术用于排队长和拥挤程度预测; 用 Kalman 滤波技术估计转向率和饱和度。

(3) 每个路口要在在滑动时间窗上求解一个向前动态规划问题以获得最优控制方案。从这个意义上说, PROLYN 是一个分布式系统。

(4) 路口信号控制的协调是通过交换车队预报数据进行进行的。

(5) 在公交优先功能中具有优化功能, 公共汽车和特种车辆的检测是通过 GPS 完成的。

PROLYN 系统的应用时间较短, 实际运行的系统不多。系统的优劣还需要时间的检验。

2 展望

能够真正实现城市交通系统的实时自适应最优控

制,是目前交通工程界科技人员所追求的目标。实现这一目标取决于两个条件:高质量的交通量检测数据和交通模型。由于交通流运动的随机性、离散性较强,这为准确测量和建模带来了困难。采用多传感器信息融合及非传统数学模型是值得考虑的方法^[2]。信息融合又可称作多传感器融合或数据融合,它实际上是一种多源信息的综合技术,通过对来自不同传感器(信息源)的数据信息进行分析综合,可以获得被测对象及其性质的最佳一致估计。在道路上安装多个车辆检测器,仔细选择其安装位置,将有助于信息融合,从而获得较准确的车流量数据。目前,非传统的预测模型主要有BP网络模型、混沌模型及向量支撑机(SVM)回归模型。BP网络模型用梯度下降算法来训练神经网络,有可能陷入局部极值从而失去泛化能力。混沌学是直接从非线性复杂系统的本身入手,从未经简化和抽象的研究对象本身去认识其内在的规律性,混沌建模有可能突破传统的线性化建模的思维。SVM是机器学习的一种新方法,近年来才被发现,它是一种结构分类方法,SVM回归模型具有较强的非线性映射能力,且可以避免神经网络遇到的困难,因而是一种很有前途的建模方法。

近年来,智能交通系统(ITS——Intelligent Transport Systems)这一术语得到全世界的广泛承认。ITS是一个跨学科、信息化、系统化的综合研究体系,其主要内容是:将先进的人工智能技术、自动控制技术、计算机技术、信息与通讯技术及电子传感技术等有效的集成,并应用于整个地面交通管理系统而建立的一种在大范围内、全方位发挥作用的,实时、准确、高效的综合交通运输管理系统。交通控制系统是

ITS研究的一个重要方面。由于交通系统具有较强的非线性、模糊性和不确定性,是一个典型的分布式非线性系统,而且具有多种信息来源、多传感器的特点,用传统的理论与方法很难对其进行有效的控制。把先进的智能控制技术、信息融合技术、智能信息处理技术与交通管理技术结合起来,代表着城市交通信号控制系统发展的方向。

参考文献:

- [1] 乐寿长. 道路交通控制 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1995.
- [2] 刘智勇, 等. 城市交通信号控制的进展 [C]. 北京: 第二届北京国际智能交通系统(ITS)技术研讨暨技术与产品展览会论文集, 2002: 370—390.
- [3] Martin P T, Hockaday S L M. SCOOT——An Update [J]. ITE Journal, 1995, 65 (1): 44—48.
- [4] Lowrie P. The Sydney Coordinated Adaptive Traffic System—principles, methodology, Algorithms [C]. Proceedings of the International Conference on Road Traffic Signalling. London: Institution of Electrical Engineers, 1982: 67—70.
- [5] Mauro V, Di Taranto UTOPIA [C]. Paris. Proceedings of the 6th IFAC/IFIP/IFORS Symposium on Control and Communication in Transportation, 1982.
- [6] Mirchandani P B, Head K L. A Real-Time Traffic Signal Control System—Architecture Algorithm and Analysis [J]. Transportation Research Part C, 2001: 415—432.
- [7] Gartner N H, Tarnoff P J, Andrews C M. Evaluation of the Optimized Policies for Adaptive Control (OPAC) Strategy [J]. Transportation Research Record 1324, 1991: 105—114.
- [8] Khoudour L, Lesort J B, Farges J L. PROLYN—Three Years of Trials in the ZELT Experimental Zone [J]. Recherche-Transports-Securite, English Issue, Special Traffic Management, 1991: 89—98.