

并行交通信号数值化优化算法研究

张立东^{1,2} 贾磊¹ 朱文兴¹ 仕小伟¹

(山东大学控制科学与工程学院 济南 250061)¹ (山东省计算中心国家超算济南中心 济南 250100)²

摘要 根据交通流的动态变化情况,实时优化交通信号配时,是减少交通延误,提高交通效率的有效方法。为减少信号优化时间,提高时效性,提出一种并行化的交通信号对比分析算法,该算法首先根据专家经验和交通管理常识设定一定的信号变化区间,然后针对该区间给定变化区间 Δ ,依次给定相应的信号配时策略,将每一种信号配时策略分配给集群系统中的一个计算节点,由各个计算节点分别进行仿真运算,最后由主节点聚合分析,对比给出最优信号控制方案。以微观交通仿真系统 Paramics 进行了仿真实验,结果表明,在 4 个节点组成的并行网络中,加速比为 1.75,其提高了仿真效率,且能较好地遴选出最优控制方案。

关键词 智能交通,交通仿真,并行仿真,Paramics,仿真系统

中图分类号 TP39,U491 **文献标识码** A

Parallel Traffic Signal Numerical Optimization Algorithm Study

ZHANG Li-dong^{1,2} JIA Lei¹ ZHU Wen-xing¹ SHI Xiao-wei²

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)¹

(Shandong Computer Science Center, National Supercomputing Jinan Branch, Jinan 250100, China)²

Abstract Traffic signal optimization is based on the dynamic fluctuation of traffic flow, which is a best way to decrease traffic delay and increase traffic efficiency. In order to cost less time during optimization simulation, we presented a kind of parallel traffic signal numerical algorithm. This algorithm first defines the time intervals of traffic signal timings from the experience of traffic engineering experts and managers, then lists the feasible groups of time setting with the given interval Δ , and dismisses each plan to according computing node. After the node finishes its simulation task, the main node will accumulate the simulation report. The simulation with Paramics shows that, with our four computing nodes in the parallel network, the speedup ratio is 1.75, and the simulation is greatly improved, also the optimal plan is selected quickly.

Keywords ITS, Traffic simulation, Parallel simulation, Paramics simulation system

1 前言

交通信号优化控制是指以优化路口的信号配时时间(包括周期、绿信比、相位差),减少路口交通延误为主要目标的交通管理与控制行为^[1],作为交通管理与控制的重要组成部分,多年来一直是众多专家学者重点攻克的研究领域。自 1976 年 Webster 提出最优周期信号算法以来,智能化的控制算法、优化算法也逐渐引入到该领域中。总体而言,目前算法可分作线性、非线性、智能化 3 种类型,如 Jisun Lee, Billy M. 等针对信号优化过程中不同方案过渡期间引起的交通流截断问题,建立了非线性数学模型,同时优化相位过渡时的周期和相位差^[2]。Eusebio Angulo 以软计算技术为基础,探讨了自适应增强交通信号优化算法,首先以集群优化技术离线地分析网络交通流特性,其次以模糊逻辑推理在线实现交通信号的预测控制^[3]。Satish V. Ukkusuri 等在重点分析了交通流

动态性、不确定性的基础上,提出了一种新的具有嵌入式细胞传递模型的鲁棒性交通系统优化控制算法,以数值仿真进行了验证分析^[4]。Chen 以国内城市非混合机动车流路口为研究对象,建立了机动车流量和非机动车流量为输入参数,以交通延误、停车次数和通行能力为优化目标的多目标优化模型,采用遗传算法(GA)对优化模型进行了求解^[5]。Li Jing-quan 提出了离散化优化的思想,将周期、绿信比、交通量等参数离散化为有限的整数值,从而将鲁棒性信号优化配时问题转化为二值整数规划问题,建立了两种动态规划模型^[6]。Liu 以排队溢出和交通阻滞主干路路口为研究对象,建立了交通信号优化模型,并以遗传算法(GA)对其进行了优化,以四支路路口为实例的分析结果表明了算法的有效性^[7]。Lucas 提出了多智能体交通信号预测控制系统,该系统将集中式预测控制模型问题拆分为一系列相互作用的子问题,每一个子问题由各个智能体单独解决,从而具有很好的扩展性和局部重组

到稿日期:2011-04-10 返修日期:2011-07-11 本文受国家自然科学基金(61174175),山东省自然科学基金(Y2008G34),中国博士后基金(20100481265)资助。

张立东(1979—),男,博士生,助理研究员,主要研究方向为智能交通、并行计算、交通流理论,E-mail:zhanglidong1102@126.com;贾磊(1959—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为智能交通、建筑节能、人工智能等。

特性^[8]。Halim Ceylan 等人以遗传算法(GA)研究了用户动态分配情况下的交通信号优化配时问题^[9]。

但现有算法均可归类为串行算法,而从交通信号优化的时效性角度考虑,及时快速地对各种信号优化配时方案做出有效对比,择优实施,对真正减少交通延误、提高交通效率是至关重要的,本文正是从这一思路出发,提出了一种并行化交通信号数值化优化的算法。

2 并行交通信号优化算法

交通信号优化是指通过研究路口、路段、路网内的交通流特性,以一定的线性算法或智能算法预测或实时估计交通流变化规律,对交通信号灯进行周期、绿信比、相位差等参数的协调优化配时,以实现减少路口的交通延误,增大路口交通流量的目的^[10-12],其核心问题在于路口周期、绿信比、相位差参数的多目标协调优化。对单路口的优化问题,主要以周期和绿信比为主。对干线控制而言,则以周期、绿信比、相位差 3 个参数为主。对区域控制而言,在干线控制的基础上,还涉及路网的划分算法、子区之间的协调问题^[13-17]。

本文以单路口的并行交通信号控制为主要研究对象,以周期和绿信比(或有效绿灯时间)为主要研究参数,提出并行交通信号优化控制的具体算法如下。

Step1 根据路口几何渠化、管理人员的经验等确定路口的相位总数 N ,并设定路口各个相位 $phase_i (i=1, 2, \dots, N)$ 的有效绿灯时长的区间值 $d=[GreenMin_i, GreenMax_i] (i=1, 2, \dots, N)$,得到路口的交通信号周期区间 $Cycle=[Cycle_{min}, Cycle_{max}]$ 。其中 $Cycle_{min}$ 和 $Cycle_{max}$ 分别由下式(1)、式(2)计算为

$$Cycle_{min} = \sum_{i=1}^N (GreenMin_i + \Delta_i) \quad (1)$$

$$Cycle_{max} = \sum_{i=1}^N (GreenMax_i + \Delta_i) \quad (2)$$

式中, $Cycle_{min}$ 为最小周期时间, $Cycle_{max}$ 为最大周期时间, $(i=1, 2, \dots, N)$, Δ_i 为与之对应的间隔时间,如红灯时间、黄灯时间和损失时间。

Step2 由专家经验确定周期和绿信比区间划分的因子 ω_c 和 ω_g ,则周期和有效绿灯时长的可行域数量分别如下

$$Number_c = INT\left(\frac{Cycle_{max} - Cycle_{min}}{\omega_c}\right) \quad (3)$$

$$Number_g = INT\left(\frac{GreenMax_i - GreenMin_i}{\omega_g}\right) \quad (4)$$

式中, $Number_c$ 为周期可行域数; $Number_g$ 为第 i 相位有效绿灯时长可行域数, $INT(\cdot)$ 为取整算子。从式(3)、式(4)可知, ω_c 和 ω_g 值越小,可行域划分越大,其计算的组合越多。

Step3 根据 Step2 划分的可行域,计算可能存在的周期和绿信比(或有效绿灯时间)优化组合。

$$Group = Number_c \times \prod_{i=1}^N Number_g \quad (5)$$

式中, $Group$ 为可行域组合总数。

Step4 采用功能性并行仿真策略,以相同的交通网络(包括网络结构、交通流量等各项参数)和上述几步得到的周期绿信比参数,分别将各组合的仿真任务分配到单个计算节点,由各个仿真节点单独完成仿真任务,最后由主节点汇总仿真结果参数,仿真流程如图 1 所示。

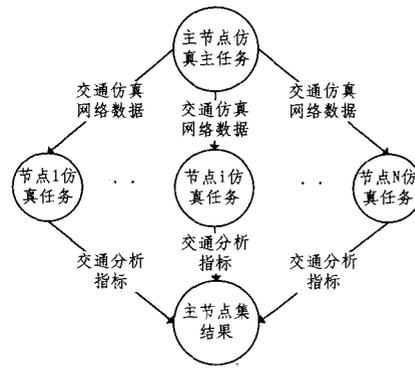


图 1 并行优化仿真流程

Step5 一般而言,交通信号优化控制的目标在于增大平均速度和减少平均延误,综合比较各种情况下的平均延误 ($Delay_i$)、车流速度 ($Speed_i$) 两项参数,提出计算方案权值系数公式,见式(6)。

$$Plan_i = \frac{\alpha \times Speed_i}{\beta \times Delay_i} \quad (6)$$

式中, $Plan_i$ 为第 i 号方案之权值, $\alpha = \beta = 1$ 。可见,平均速度越大,指标越大;延误越小,指标越大,这符合常识,说明指标合理。

3 仿真算例

选取济南市典型路口(经十路与舜耕路)为分析对象,仿真数据采用由济南市交警支队获得的该路数据,采集设备为感应线圈,采集间隔为 5min。

3.1 仿真环境

采用并行微观交通仿真软件 Q-Paramics,网络环境为千兆以太网,一个主节点,三个处理器节点,系统环境配置四台 MS-WindowsXP 操作系统,内存 1G 的两台,内存 2G 的三台。管理节点 1 个,计算节点 4 个。处理器类型均为 GenuineIntel。

3.2 仿真参数设置

3.2.1 交通网络拓扑

网络拓扑图如图 2 所示。

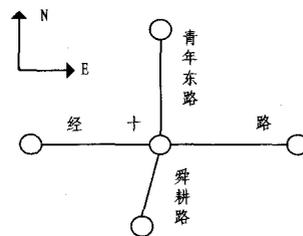


图 2 交通网络拓扑图

3.2.2 配时方案设计

路口采用四相位控制方案($N=4$),各相位有效绿灯时间可行域分别设为:主干路直行有效绿灯时间为 $d_1=[20, 60]$;主干路左转有效绿灯时间为 $d_2=[15, 30]$;支路直行有效绿灯时间为 $d_3=[15, 40]$;支路左转有效绿灯时间为 $d_4=[10, 25]$;仿真过程中,红灯时间设为 5s(或红灯时间设为 2s,黄灯时间设为 3s,效果相同)。

根据式(1)、式(2)可得周期值可行域为 $Cycle=[80, 185]$,设 $\omega_c=10$,由式(3)得 $Number_c=10$;由式(4)得各相位

可行域 $\omega_{g1}=4, Number_{g1}=10; \omega_{g2}=3, Number_{g2}=5; \omega_{g3}=5, Number_{g3}=5; \omega_{g4}=3, Number_{g4}=5$; 由式(5)得到, 可行域的组合为 $Group=12500$ 种, 数据量庞大, 可见采用串行环境下的穷举法策略实现信号的实时优化并不现实。

根据专家经验, 选择表 1 中具有代表性的 4 种方案进行仿真对比分析。

表 1 仿真所用信号配时方案

方案编号	相位 1	相位 2	相位 3	相位 4	周期
1	20	15	15	10	80
2	30	25	20	15	110
3	45	30	35	20	150
4	60	30	40	25	185

3.3 仿真结果分析

3.3.1 加速比分析

假设某个串行应用程序在某台并行机单处理器上的执行时间为 T_s , 而该程序并行化后, p 个进程在 p 个处理器并行执行所需要的时间为 T_p , 则该并行程序在该并行机上的加速比 S_p 可定义为^[17]

$$S_p = \frac{T_s}{T_p} \quad (7)$$

通过在单台服务器上和在本文所给出的并行环境下, 连续仿真多次, 得到图 3 所示的串行和并行仿真时间, 求其平均值后, 根据式(7)计算得到平均加速比为 1.75, 仿真速度得到了提高。

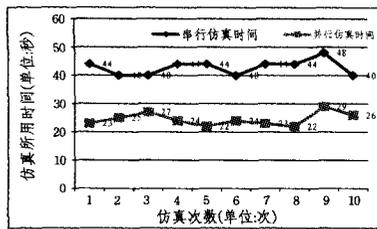


图 3 并行仿真加速比

3.3.2 方案遴选

各个方案的仿真结果如图 4 所示。根据本文提出的指标体系(式(6)), 综合分析比较表 2 中的指标结果, 可以得出各种方案的优劣关系, 其中方案 1 为当前交通流状况下较为理想的交通信号控制方案。

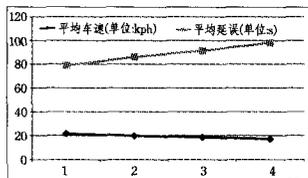


图 4 平均车速和平均延误

表 2 预测结果比较表

方案编号	评价指标系数
1	0.275
2	0.23
3	0.204
4	0.18

结束语 并行仿真策略通过利用多处理器的并行处理能力, 可极大地提高交通信号的优化效率, 减少交通仿真时间的消耗, 提高了解决实际交通问题的能力, 但限于硬件设备数量的因素, 本研究只实现了四台处理器相连情况下的并行

算法问题, 下一步将深入研究超算平台架构下交通干线及区域网络情况下的交通信号数值化并行优化策略以及并行化的智能优化策略, 并开发数值模拟仿真软件。

参考文献

- [1] Li Xiu-gang, Li Guo-qiang, Pang Su-seng, et al. Signal timing of intersections using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption; a note[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2004, 9(5): 401-407
- [2] Lee J-S, Williams B M. Development and evaluation of a constrained optimization model for traffic signal plan transition[J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2011, 17: 490-508
- [3] Angulo E, Romero F P, et al. An adaptive approach to enhanced traffic signal optimization by using soft-computing techniques [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(3): 2235-2247
- [4] Ukkusuri S V, Ramadurai G, Patil G. A robust transportation signal control problem accounting for traffic dynamics[J]. Computers & Operations Research, 2010, 37(5): 869-879
- [5] Chen Xiao-hong, Qian Da-lin, Shi Dong-hua. Multi-objective Optimization Method of Signal Timing for the Non-motorized Transport at Intersection[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2011, 11(2): 106-111
- [6] Li Jing-quan. Discretization modeling, integer programming formulations and dynamic programming algorithms for robust traffic signal timing[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(4): 708-719
- [7] Liu Yue, Chang Gang-len. An arterial signal optimization model for intersections experiencing queue spillback and lane blockage [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(1): 130-144
- [8] de Oliveira L B, Camponogara E. Multi-agent model predictive control of signaling split in urban traffic networks[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2010, 18(1): 120-139
- [9] Ceylan H, Bell M G H. Traffic signal timing optimisation based on genetic algorithm approach, including drivers' routing[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2004, 38(4): 329-342
- [10] 陈小锋, 史忠科. 城市交通干线信号动态优化控制方法[J]. 西北工业大学学报, 2010, 28(4): 579-584
- [11] 张萌萌, 贾磊, 邹难, 等. 单点交叉口鲁棒优化信号配时研究[J]. 公路交通科技, 2011, 28(1): 108-111
- [12] 张本, 商蕾, 高孝洪. 基于遗传算法的交叉口信号配时多目标优化[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2010, 34(4): 846-848
- [13] 何兆成, 杨文臣, 梁诗等. 城市单交叉口交通信号实时优化控制与仿真[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(33): 39-243
- [14] 王殿海, 杨希锐, 宋现敏. 交通信号干线协调控制经典数值计算法的改进[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, 41(1): 29-34
- [15] 朱文兴, 贾磊, 杨立才. “大路口”交通信号的优化控制[J]. 控制理论与应用, 2006, 23(3): 491-494
- [16] 唐璇, 刘波, 蔡自兴. 基于二维主成份分析的交通标志牌识别 [J]. 计算机科学, 2010, 37(11): 287-288, 294
- [17] 陈国良. 并行算法的设计与分析(第三版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 47-49