

一种改进的基于合作调停的交通协调控制算法

王雪茹¹, 高婷婷¹, 李萌¹, 张磊¹, 王培东²

(1. 黑龙江东方学院 计算机科学与电气工程学部, 黑龙江 哈尔滨 150086;

2. 哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要: 缓解交通拥堵, 增加交叉口通行能力的有效手段是交通信号控制. 为了使车辆在穿越干道交叉口时尽量少的停留, 协调交通信号控制的研究越来越成为热点. 以智能体控制技术为基础, 提出了基于合作调停的协调交通信号控制算法. 将信号的协调模型化为分布式约束优化问题, 应用最优异步部分交叉算法, 通过调停手段得到最优的信号协调控制方案. 仿真实验表明, 基于合作调停的交通信号协调控制算法能够得到使系统费用最小的协调信号控制方案.

关键词: 协调; 交通控制; 约束优化问题; 多智能体

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)01-0059-05

A Modified Coordinated Traffic Signal Control Based on Cooperative Mediation

WANG Xue-ru¹, GAO Ting-ting¹, LI Meng¹, ZHANG Lei¹, WANG Pei-dong²

(1. Department of Computer Science and Electrical Engineering, East University of Heilongjiang, Harbin 150086, China;

2. School of Computer Science and Technology, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Traffic control is an effective measure to increase the capacity of junctions to alleviate traffic congestion. A class of these approaches deals with coordination of traffic lights in order to allow vehicles traveling in a given direction to pass an arterial without stopping at junctions. Using multi-agent technology, a coordinated traffic signal control algorithm based on cooperative mediation is proposed. The coordination of traffic control is modeled as a distributed constraint optimization problem. The optimal asynchronous partial overlay (OptAPO) which is a cooperative mediation based DCOP protocol is used to obtain the optimal strategy. The simulation results show that a strategy which can minimize the global costs can be obtained from the coordinated traffic signal control algorithm based on cooperative mediation.

Key words: coordination; traffic control; constraint optimization problems; multi-agent

0 引言

为缓解交通拥堵, 各个学科如交通工程、物理学及人工智能等领域都对此开展了很多研究. 传统的

方法是使交通信号配时协调或同步, 以满足车辆在干道的一个方向上以一定的速度通畅行驶而不必停留^[1]. 也就是各相邻交叉口采用协调的信号配时方案, 在道路上制造一条绿波带, 使干道车辆顺畅通行而不必等待红灯.

收稿日期: 2013-09-04

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究(指导)项目(12513063).

作者简介: 王雪茹(1982—), 女, 硕士研究生, 讲师, E-mail: wangxueruvip@163.com;

高婷婷(1984—), 女, 硕士研究生, 讲师;

李萌(1982—), 女, 硕士研究生, 讲师.

实际实施中,协调控制的参数能够离线或在线的计算出来.如SCOOT系统,为一个能够使特定道路出现绿波交通的自适应控制系统.这种协调控制的方法对于交通网络中的确定的交通流模式的控制有很好的效果,如早、晚高峰.但由于交通流的动态特性,实际交通状况往往不能确定,这就需要研究更为灵活的控制方法.

多智能体技术是分布式人工智能的重要分支,支持分布式应用,基于多智能体的城市交通控制是实现城市交通智能化控制的重要途径.本文以多智能体技术为基础,结合分布式约束优化相关知识,提出基于合作调停的交通信号协调控制算法.

1 相关研究

1.1 交通信号协调控制

交通信号协调控制是通过调节道路上相邻交叉口之间的交通信号的相位差,使干道上车辆按一定速度行驶,尽可能不必因等红灯而延误.这种方法能够提高干道的交通供给能力,减少干道交通的排队时间和交叉口延误,增加交叉口通行能力,改善城市交通.

目前,根据信息的处理方式,交通控制系统包括集中式控制、递阶式控制和分布式控制三种.集中式控制系统需要控制中心对路网进行统一响应,但是所需通信系统庞大,存储量大,系统的实时性及可靠性不高^[1];递阶式控制控制系统分为不同级别,每一级的控制任务都不相同.最下级担任战术控制,最上级担任战略任务,较集中式控制的可靠性有所提高,但实质仍是由中心统一控制;分布式控制结合了集中式控制和递阶式控制的优点,将全局问题分解为局部的控制问题,降低了算法的复杂度,提高了控制效率^[2];冯雨芹等^[3]在调查分析的基础上,应用线性加权系数法确定交叉口点线控制方式选择的综合评价价值,ZHANG等^[4]强调计算机智能和多智能体技术在城市交通智能诱导系统中的应用,提出了交通诱导系统和交通控制系统互读的管理模式,ZHAO等^[5]提出了一种基于多智能体技术的交通信号协调控制方法,并用遗传算法来优化信号周期,绿灯时长等参数,STANCIU等^[6]以区域内各交叉口的信号协同控制方案,确定最佳的信号周期及绿灯时间,实现了减少车辆延迟,避免拥堵,提高路网服务水平.LANDMAN等^[7]利用有限状态机模型,根据实时交通状况制定预期道路服务水平,并以此为目标

优化信号配时及定制诱导方案.在目前的智能控制技术中,多智能体技术以其分布式、适应性强的特点,在信号协调控制领域具有广阔的应用前景.

1.2 分布式约束优化问题及算法

分布式约束优化问题(distributed constraint optimization problem, DCOP)是分布式约束满足问题进一步的扩展.DCOP由变量集合构成,每个变量由对应的Agent控制赋值.多个Agent在赋值时必须相互协调,使全局目标函数最优.全局目标函数定义在一组值约束的集合上,每个Agent仅知道关于控制的变量上的约束.

对DCOP求解算法的要求:①分布性.由于应用领域本身的分布性,需要仅使用本地通信,分布地得到最优解;②异步性.异步性保证各Agent不必相互等待,从而提高效率,达到快速求解的目的;③完备性.即算法能够保证得到最优解,即使是近似解,也要求误差在控制范围之内.

最优异步部分交叉算法(optimal asynchronous partial overlay, OptAPO)是一个运用动态部分集中技术来解决分布式约束优化问题的完备算法^[8].该算法构造两个结构关系表:good_list和agent_view. good_list中存储了和当前Agent有直接或间接关系的Agent的名称.agent_view中保存了这些相关联Agent的信息(包括Agent名称,变量,变量的值域及Agent间的函数关系等).算法的工作步骤分为3个阶段:

Step 1: 初始化.每个Agent设定自身变量初值,包括其自身的取值、值域、优先级及Agent间的函数关系等信息,并构建结构关系表good_list和agent_view;

Step 2: 选取调停者.检查agent_view,计算本地good_list中各Agent费用,如果good_list并非所有Agent都处于最优状态,则选取优先级最高的Agent作为调停者,调停者确定是否可以通过改变自身的变量值而使全局达到最优.若是,则改变自身值域,进入下一循环,否则,发出调停指令,进入调停阶段;

Step 3: 调停.在该阶段,调停者利用分支定界搜索来找出费用较大的Agent并调整其值域,以使good_list的局部费用及全局费用达到最小.

OptAPO算法中费用计算是一个静态过程,不适用于实时的交通信号调整,因此本文考虑交通流的动态性,计算智能体的实时费用,修正OptAPO算法,建立基于合作调停的分布式交通信号协调控制算法.

2 基于合作调停的分布式交通信号协调控制算法

2.1 问题描述

变量: 假设只考虑交叉口处两个直行方向的优先权分配, 这样每个智能体就只有一个变量, 即 DCOP 的变量 $D = \{NS/SN, EW/WE\}$, NS/SN 表示优先考虑南北向直行车辆, EW/WE 表示优先考虑东西向直行。

约束: 路网中所有信号交叉口不可能同时与所有相邻路口都达到协调。即当一个路口赋予南北向车流优先通行权时, 它与其南北相邻的交叉口信号达到协调控制, 这一方向交通流获得更长的绿灯时间, 而与其同时东西向交通流的红灯时间也会变长, 车辆延误增加。所以当两个方向的车流都需要较高优先权时, 就产生了冲突。

2.2 基于合作调停的分布式交通信号协调控制算法

首先基于两个交叉口之间的协调关系及交叉口的入口车辆数 (incoming vehicles), 定义相邻交叉口之间的费用函数及系统的全局费用函数, 计算方法如下:

1) 全局费用函数 F_i 计算过程

if (IncomingVehicles (NS) $\geq$ (IncomingVehicles (WE))

then

for all j in the North/South direction $\in$ good_list

of agent i

do $F_i = F_i + f(x_i, x_j)$

end for

else

for all j in the East/West direction $\in$ good_list of agent i

do $F_i = F_i + f(x_i, x_j)$

end for

end if

2) 相邻交叉口之间费用函数 $f(x_i, x_j)$ 计算过程

if (d_i is the direction with higher IncomingVehicles)

then

if ($d_i = d_j$) then

$f(x_i, x_j) = 0$;

else

$f(x_i, x_j) = \frac{\text{IncomingVehiclesFrom}(x_j)}{\text{TotalIncomingVehicles}()};$

end if

else

$f(x_i, x_j) = 2 * \frac{\text{IncomingVehiclesFrom}(x_j)}{\text{TotalIncomingVehicles}()};$

end if

相邻交叉口之间费用函数 $f(x_i, x_j)$ 由过程计算得到, 结果取决于进口车辆多的方向及该方向当前是否被优先, 分为如下 3 种情况:

Situation 1: 如果相邻交叉口之间的信号方案已经协调一致 ($d_i = d_j$), 并且该方案优先考虑进口车辆数多的方向, 则费用为 0 ($f(x_i, x_j) = 0$) 。

Situation 2: 如果交叉口 x_i 优先考虑进口车辆数多的方向, 而 x_j 并没有同步考虑该方向, 则会产生一定的费用, 费用值为由 x_j 到 x_i 进入的车辆数除以由所有相邻路口 (x_j 的 good_list) 进入 x_j 的车辆数 (TotalIncomingVehicles ()) 。

Situation 3: 如果交叉口 x_i 优先考虑的方向不是进口车辆数多的方向, 则此时产生的费用为 Situation 2 的两倍。

全局费用由图 1 得出, 即为所有相邻交叉口之间费用的总和。上述优化问题的目标是协调信号配时以使全局费用最小。由上述所示, 相邻交叉口之间费用总是在 0 和 2 之间。

基于合作调停的分布式交通信号协调控制算法如下:

Step 1: 初始化。设定 Agent i 的初值, 包括当前车流方向 d_i 、交叉口名称 x_i 、优先级 p_i 、定义域 D_i 、Agent 间的函数关系 C_i 以及关系结构表 good_list 和 agent_view;

Step 2: 选取调停者。通过 agent_view, 计算全局费用函数 F_i , 若 $F_i > F_{\min}$ ($F_{\min}$ 为最小费用), 则 Agent i 进入预调停状态。如果 Agent i 的优先级低于子系统中其他 Agent, 则 Agent i 进入被调停状态, 否则 Agent i 的调停命令 m_i 设为 active。Agent i 首先判断时候可以通过改变自身的变量值以使费用达到最优状态, 如果可以, 则改变自身变量值, 否则, 进入调停阶段;

Step 3: 调停。调停者向 good_list 中的各 Agent 发送评估信息, 动态的计算 Agent 两两之间的费用函数 $f(x_i, x_j)$, 调整各 Agent 的值域以使相互间冲突费用 $f(x_i, x_j)$ 最小;

Step 4: 方案选择。调停者在 good_list 中进行分支定界搜索, 选出使全局费用 F_i 最小的信号配时方案, 并调整相应 Agent 的变量值, 然后算法回到 Step

2,继续计算下一交叉口.

2.3 算例分析

如图1(a)所示网络结构,网络中有25个节点和40个路段.虚线圆表示该交叉口赋予NS/SN方向优先权,而实线圆表示EW/WE方向被赋予优先权.图1(b)为 B_4 交叉口的局部网络图.

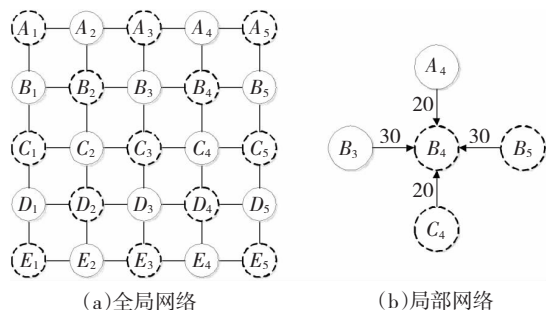


图1 网络结构图

根据 OptAPO 算法,对于路口 B_4 (如图1(b)所示)的参数值如下计算:

$$p_i = 20(A_4) + 20(C_4) + 30(B_5) + 30(B_3) = 100;$$

$$d_i = \text{NS/SN (南北方向)}$$

$$m_i = \text{active}$$

$$\text{mediate} = \text{none}$$

$$\text{good_list} = \{A_4, B_3, B_4, B_5, C_4\}$$

$$\text{agent_view} = \{A_4, B_3, B_5, C_4\}$$

由图1,将 B_4 南北向驶入的车辆数与总驶入车辆数进行比较.40辆车由南北向驶入,60辆车由东西向驶入,表明东西向的需求量高.所以应考虑优先协调 B_4-B_3 和 B_4-B_5 .符合 Situation 3(B_4 没有优先考虑高需求量的方向),故由过程2):

$$f(B_4, B_3) = f(B_4, B_5) = 2 \times 30 / 100 = 0.6$$

$$F_i = 2 \times 30 / 100 + 2 \times 30 / 100 = 1.2$$

由于 B_4 的全局费用为非最优化状态($F_i \neq 0$),且 B_4 在 good_list 中,所以根据优先级选取 B_4 为调停者, B_4 的 m_i 设为 active.

为计算方便,假设网络中其他路口均为南北向优先通行且东西向进入车辆都为30,而南北向进入车辆都为10.这时我们可以将 B_4 改为EW/WE方案.此时 $f(B_4, B_5) = 0.3$,由于 B_5 仍然是NS/SN策略,符合 Situation 2. 这样操作并不会产生最优的效果,此时 B_4 向 A_4, B_3, B_5, C_4 发送评估信息,如表1所示.

表中费用值为某一路口转变不同策略所产生的费用值,例如,如果 A_4 将策略改变为NS/SN,则会导致与 A_3 和 A_5 冲突,则 $f(A_4, A_5)$ 和 $f(A_4, A_3)$ 满足 Sit-

uation 3 并且费用均为0.86($f(A_4, A_5) = f(A_4, A_3) = 2 \times 30 / 70 = 0.86$).调停者利用这些信息来计算最小冲突费用.然后调停者 B_4 进行分支定界搜索,使 good_list 的 $F_i = 0$. B_4, B_5 和 C_4 都将自身的优先策略变为EW/WE,这样 $f(B_4, B_5) = f(B_4, C_4) = 0$ (符合 Situation 1).但之前 C_4-C_3 和 C_4-C_5 的冲突仍然存在,因为 C_3 和 C_5 并不在 B_4 的 agent_view 中.然而,系统费用已经由0.75降到了0.375(见表1).表1中 C_4 与其他交叉口的冲突不在 B_4 的调停范围内,所以 B_4 只能改变 C_5 的策略.为实现全局优化, B_4 将 C_3 和 C_5 加到了它的结构表 good_list 和 agent_view 中.同样的, B_4 也在 C_3 和 C_5 的 good_list 和 agent_view 中,因为 B_4 和 C_4 是邻接关系. B_4 调解完成之后,OptAPO 又继续进行直到每个路口都能最优化费用并得到全局最优解.

表1 评估信息表

点编号	优先方向	冲突点	费用
A_4	NS/SN	A_3	0.86
		A_5	0.86
	EW/WE	A_3	0.43
		A_5	0.43
B_3	NS/SN	B_2	0.75
		B_4	0.75
	EW/WE	B_2	0.375
		B_4	0.375
B_5	NS/SN	B_4	1.2
	EW/WE	B_4	0.6
C_4	NS/SN	C_3	0.75
		C_5	0.75
	EW/WE	C_3	0.375
		C_5	0.375

3 仿真实验

3.1 初始网络及数据

本文用图1所示网络结构进行仿真研究.每个路段在一个仿真周期内的通行能力为30辆车.实际交通流量到达分布采用高斯分布,期望 $\mu = 8$,标准差 $\theta = 2$.假设车辆的行驶方向不发生改变,即从 A_1 进入的向南行驶的车辆会沿直线行驶到 E_1 离开.假设信号配时为两相位配时,即南北向直行和东西向直行.每个信号周期为90s,相位时间为60s和30s.因此,选取仿真时间间隔为30s.速度规定为30s

内能通过 10 辆车。

仿真开始时, 交叉口 $A_1, A_3, A_5, B_2, B_4, C_1, C_3, C_5, D_2, D_4, E_1, E_3$ 和 E_5 的 $d = NS/SN$, 其他路口的 $d = EW/WE$ (如图 1 所示)。在初始配置的情况下, 每个路口与其相邻路口的配时方案都不相同, 并不协调。

3.2 仿真结果

如过程 2) 所示, 仿真开始时全局费用为 25, 在 120 个时间内, 调停者持续工作, 费用逐渐下降。由图 2 可知, 费用呈波浪形下降, 这是因为车辆在等红灯时会发生排队从而增加费用。绿灯开始时, 排队开始消散。调停手段使总费用维持在 12 左右。总费用为 0 是不可能发生, 因为一个交叉口不可能和所有的其他交叉口都同时完全协调。总费用趋于稳定之后, 只有微弱的浮动发生, 这是由于高斯分布的影响, 这种变化并不会激发调停者工作, 因为交通流的变化在某种程度上说并不需要改变配时方案。

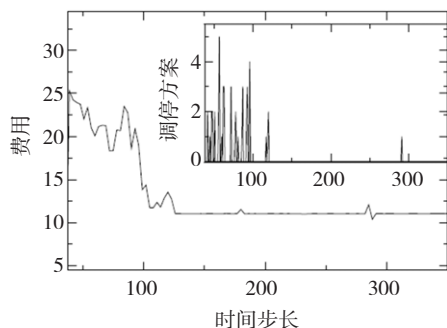


图 2 费用随时间变化曲线

将计算后的协调路口进行分块整理, 如图 3 所示。交叉口 $B_1, C_1, D_1; A_3, B_3, C_3, D_3$ 和 A_5, B_5, C_5 均为 NS/SN , 而 A_1, A_2 和 E_1, E_2, E_3, E_4 均为 EW/WE 。

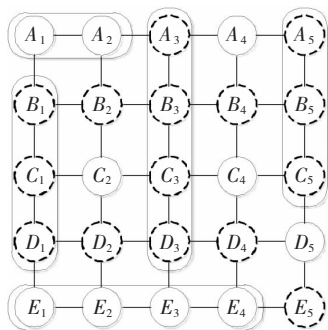


图 3 仿真结果

4 结 语

本文以多智能体技术为核心, 将协调交通信号控制问题抽象为分布式约束优化问题, 结合最优异步部分交叉算法, 提出基于合作调停的协调交通信号控制算法。该算法能够适应交通流的动态特性, 根据实际交通状况动态协调交通信号控制。在后续工作中, 调停者在通信过程中所产生费用与智能体通过在学习而达到协调所需时间之间的博弈将成为研究重点。

参 考 文 献:

- [1] 伍建国, 巨永锋. 平面交叉口信号模糊控制与仿真 [J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(2): 81-84.
- [2] 程婉燕. 基于多智能体的城市交通信号控制的协调与优化 [J]. 福州: 福建农林大学, 2009: 18-19.
- [3] 冯雨芹, 张春平, 丛秀娟. 信号交叉口的点线控制方式 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2008, 13(3): 10-13.
- [4] ZHANG K, SHE J, GAO M. Study on Urban Traffic Intelligent Guidance System [C] // Information Science and Management Engineering, 2010: 165-168.
- [5] ZHAO J, TANG D. Coordination Traffic Control under The Framework of Multi-agent Technology [C] // Computer Science and Engineering, Second International Workshop on IEEE, 2009: 219-222.
- [6] STANCIU E A, MOISE I M, NEMTOI L M. Optimization of Urban Road Traffic in Intelligent Transport Systems [C] // Applied and Theoretical Electricity, 2012 International Conference on IEEE, 2012: 1-4.
- [7] LANDMAN R L, SCHREITER T, HEGYI A. Policy-Based, Service Level Oriented Route Guidance in Road Networks [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2278(1): 115-124.
- [8] MAILLER R, LESSER V. Solving Distributed Constraint Optimization Problems Using Cooperative Mediation [C] // Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-agent Systems, 2004: 438-445.

(编辑: 温泽宇)