

文章编号: 1001-0920(2004)07-0737-04

## 基于agent的城市交通信号控制

高海军<sup>1</sup>, 俞国军<sup>2</sup>, 李振龙<sup>1</sup>

(1. 中国科学院自动化研究所, 北京 100080; 2. 浙江大学信息科学与工程学院, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 利用agent技术对城市交通信号控制进行研究, 首先给出了区域agent(ARA)的组成和结构, 然后给出了城市交通控制的模型和协调算法。基于agent技术的城市交通控制系统能对交通状况进行实时反映和处理。在此模型基础上, 应用博弈论的相关知识给出城市交通信号协调控制算法。最后通过仿真程序验证了该模型和算法的有效性和实用性。

**关键词:** 城市交通; 信号控制; agent技术; 区域协调算法; 博弈理论

**中图分类号:** U 121 **文献标识码:** A

## Agent-based urban traffic signal control

GAO Hai-jun<sup>1</sup>, YU Guo-jun<sup>2</sup>, LI Zhen-long<sup>1</sup>

(1. Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. College of Information Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China. Correspondent: GAO Hai-jun, E-mail: zkyghj@263.net)

**Abstract:** The urban traffic signal control is studied by using agent technology. The composition and structure of area agent (ARA) are discussed. The urban traffic control model and coordination algorithm are put forward. The agent-based urban traffic signal control system is capable of responding to traffic condition in real-time. Based on the model, an urban traffic signal coordination algorithm is proposed by means of game theory. The simulation results verify the effect and practicability of this model and algorithm.

**Key words:** urban traffic; signal control; agent technology; area coordination algorithm; game theory

### 1 引言

从20世纪60年代开始, 一些学者开始对城市交通信号控制进行研究, 如Gartner<sup>[1]</sup>, Lin等<sup>[2]</sup>, 并提出了一些信号控制算法, 例如定时控制<sup>[3]</sup>、感应控制等。由于交通流具有时变性和随机性, 很难建立精确的数学模型, 传统的方法(定时控制和感应控制)难以取得良好的效果。随着智能控制技术的发展, 学者们提出一些智能控制的方法, 如模糊控制<sup>[4-6]</sup>和神经网络控制等<sup>[7]</sup>。然而, 模糊控制的规则随着控制路口的增加而增加, 过多的规则对运算速度会带来一定的影响; 另外, 它没有自学习功能, 不能适应经常

变化的交通流。神经网络控制虽然对非线性系统和难以建模的系统具有良好的映射功能和学习功能, 但它对信号控制器硬件的计算能力和速度有很高的要求。

近年来, agent技术已成为人工智能研究的一个热点。本文以多智能体技术为基础, 利用博弈论的相关知识提出了城市交通信号控制模型。基于agent技术的城市交通控制系统, 能对交通状况进行实时反映和处理, 使一定区域内的城市交通信号得到协调优化, 从而较好地解决了城市交通拥挤问题。

收稿日期: 2003-06-04; 修回日期: 2003-09-19

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(60125310); 引进国外杰出人才基金资助项目([1999]0359)

作者简介: 高海军(1976-), 男, 浙江宁波人, 博士生, 从事智能交通等研究; 俞国军(1977-), 男, 浙江临安人, 博士生, 从事数字图像处理等研究

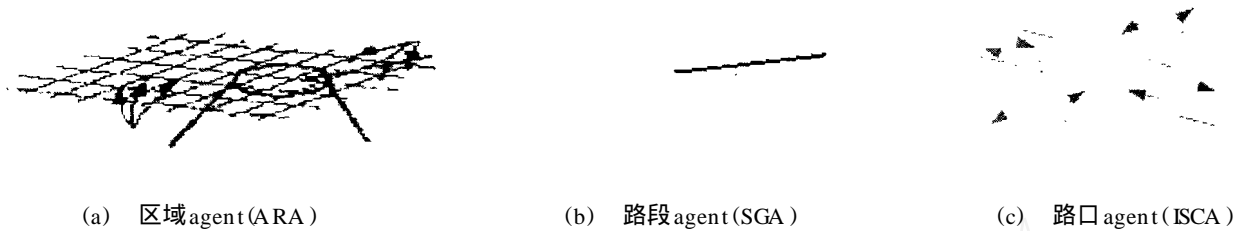


图1 交通控制系统区域结构

## 2 基于agent的城市交通信号控制系统

路口是城市交通信号控制系统的基本控制单位。一个区域由多个路口及连接这些路口的路段组成，一个城市的交通信号控制系统则由多个区域组成。基于agent的城市交通信号控制系统主要包括3类agent：区域agent(ARA)，路段agent(SGA)和路口agent(ISCA)。每个区域由一个ARA以及一些SGA和ISCA组成，具体区域结构如图1所示。

ARA的全局目标是使整个城市的流量最大化，局部目标是使区域的流量最大化。它根据自己的目标、能力、知识以及获得的数据来决策如何控制路口，主要解决来自SGA和ISCA的一些冲突，决定最后的控制策略。ARA既要解决局部的冲突，又要处理全局的优化，因此必须具有整个城市交通控制系统的局部和全局知识。这样的情况很难用精确的数学方式来表达，而博弈理论则是处理这种情况的一种有效方法。

SGA的目标是使路口之间路段上的流量保持在一定的范围内。一般在路段上设置一些检测器来获取此路段实时的交通状况，并且通过SGA传递给相邻的两个ISCA以及上面的ARA。设置SGA的目的是为了得到更多有关交通流的实时信息，能为ARA提供一些控制策略。

ISCA是整个交通控制系统最基本、最主要的部分。ISCA根据它的目标、能力、知识以及获得的数据来决定路口如何控制。如果需要，一个ISCA可向ARA请求额外的信息或得到其他的目标和命令。ISCA主要由以下几方面组成：1) 需要完成的目标是交通流的最大化，给定它的一些基本规则；2) 需要遵守的一些规则和需要完成的一些任务；3) 根据它的能力和状态帮助控制器采取何种行动；4) 能够停止或取消一些任务，主要是根据自己的感觉和知识来解决问题。

ISCA能够实时地进行控制和决策，它主要执行以下行动：1) 数据的采集和发送(包括当前交通流的状态以及相邻路口的状况)；2) 分析交通流存在的一些相关问题；3) 计算相位的时间和顺序；4) 对交通

流进行决策和控制

## 3 路口agent(ISCA)

城市交通控制的控制对象是交通流，控制设备主要是交通信号灯，通过信号灯色的改变来控制交通流的运行。一个ISCA由几个agent组成，ISCA的内部结构如图2所示。

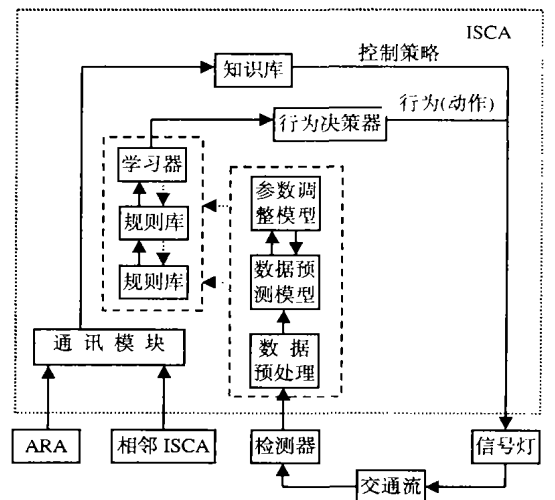


图2 ISCA的结构

在图2中，车辆检测器将检测到的路口交通流量信息发送给ISCA，ISCA对数据进行预处理，剔除那些不符合要求的数据，然后把数据传送给数据预测模型agent。数据预测模型agent估计未来某时刻的数据状况，预测的数据与路口和路段有关。参数调整模型agent用于调整数据预测模型agent中的具体参数，由于预测的数据与实际数据有一定的误差，参数调整模型agent根据误差的大小来调整数据预测模型agent中的相关参数。学习器根据接收的相关信息以及相关的经验知识或学习得到的定量信息，为行为决策器提供决策的依据，并不停地与规则库和知识库进行交互，必要时可更新、补充或删除一些规则。规则库和知识库根据专家的经验决定，并根据每个路口的实际情况进行学习调整。行为决策器主要根据最后的学习结果来选择它的行为。相邻的ISCA以及ARA通过通讯模块作用于知识库，也会

提供相应的控制策略 最后与学习控制器产生的行为共同控制交通信号灯

#### 4 协调控制模型和算法

在整个交通控制系统中, 由于受到资源的限制, 会引发路口 agent 之间的冲突 一个 agent 的决策往往会影响其他 agent 的决策, 同时也会受到其他 agent 决策的影响 因此, 一个 agent 在作决策时, 应考虑其他 agent 可能采取的策略来决定自己的策略 上述定义的各个 agent 间可以相互通信, 每个 agent 可通过通讯了解其他 agent 的完全信息(策略空间、效用函数等).

为建立区域协调模型和算法, 首先引入一些相关的定义<sup>[8]</sup>:

1) 设

$$Q_i(t) = \{Q_{i,e}(t), Q_{i,s}(t), Q_{i,w}(t), Q_{i,n}(t)\} \quad (1)$$

为  $t$  时刻第  $i$  路口车辆数量的向量, 其中  $Q_{i,e}(t)$ ,  $Q_{i,s}(t)$ ,  $Q_{i,w}(t)$ ,  $Q_{i,n}(t)$  分别表示  $t$  时刻第  $i$  路口的东、南、西、北方向的等待车辆数

2) 设

$$Q_i = \{Q_{i,e}, Q_{i,s}, Q_{i,w}, Q_{i,n}\} \quad (2)$$

为第  $i$  路口等候车辆数的阈值向量, 其中  $Q_{i,e}$ ,  $Q_{i,s}$ ,  $Q_{i,w}$ ,  $Q_{i,n}$  分别表示东、南、西、北等候车辆数的阈值, 该阈值可根据具体情况进行修改

3) 设

$$A = \{\text{agent}_1, \text{agent}_2, \dots, \text{agent}_m\} \quad (3)$$

为博弈协调中行为和决策的主体, 其目的是通过选择行动策略以最大化自己的支付(效用) 水平

4)  $I$  表示每个主体拥有的信息, 包括其他主体的特征和行动策略的信息

5)  $S$  表示主体的所有可能的策略或行动的集合, 一个主体的全部可行策略称为它的策略空间 对于一般路口的 agent, 有

$$S = \{\text{东西直行, 南北直行, 东西双左拐, 南北双左拐}\} \quad (4)$$

某些特殊形状路口的策略空间会发生相应变化

6)  $U$  表示主体获得的利益, 是指在既定策略组合条件下主体的得失情况, 即在特定的策略组合下主体得到的效用水平

7) Nash 均衡: 设有  $m$  个 agent 的博弈描述为  $G = \{A, S, U\}$ , 若此问题中的策略组合  $S^* = \{s_1^*, \dots, s_i^*, \dots, s_m^*\}$  是 Nash 均衡的, 则必须满足

$$U_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq U_i(s_i, s_{-i}^*), \forall s_i \in S_i \quad (5)$$

其中:  $s_i^*$  为第  $i$  个 agent 选择的策略,  $s_{-i}^*$  为除  $i$  个

agent 之外其他所有 agent 的策略组成的向量,  $U_i$  为第  $i$  个 agent 的效用水平,  $S_i$  为第  $i$  个 agent 的策略空间

#### 4.1 协调控制模型

在城市交通信号控制系统的寻优过程中, 一般遇到的资源冲突有以下 3 种: 第 1 种是 ISCA 与 ISCA 之间的冲突; 第 2 种是 ISCA 与 ARA 之间的冲突; 第 3 种是 ARA 与 ARA 之间的冲突 因此, 整个协调过程分为 3 个层次: 最低层是 ISCA 与相邻 ISCA 之间的协调, 这是最基本的协调; 中间层是 ISCA 与 ARA 之间的协调, 这是由于 ARA 为使整个区域达到最优, 有时会与某个 ISCA 产生一定的冲突, 因此需要进行协调; 最上层是 ARA 与 ARA 之间的协调, 这是为使系统达到全局最优而不是局部最优所进行的协调 具体的协调层次如图 3 所示



图 3 交通控制系统的协调层次

系统的博弈协调模型如下:

$$G = \{A, I, S, U\} \quad (6)$$

其中:  $A$  是需要协调的 agent 的集合,  $I, S$  和  $U$  的意义同上

每个 agent 依据它所拥有的信息  $I$ , 在  $S$  中选择合适的策略, 通过不断地协调, 使它们的盈利达到 Nash 均衡, 即

$$U_i(t/s_i^*, s_{-i}^*) \geq U_i(t/s_i, s_{-i}^*), \forall s_i \in S_i \quad (7)$$

#### 4.2 协调算法

下面给出协调算法, 其步骤如下:

Step 1: 如果 ISCA 某方向的车辆排队数超过阈值, 则向相邻的 ISCA 发出请求

Step 2: 相邻的 ISCA 响应请求, 并通过博弈来寻求 Nash 均衡

Step 3: 如果 Nash 均衡存在, 则 ISCA 的行动策略就是达成 Nash 均衡时的策略, 每个 ISCA 按该策略控制路口器, 本次协调结束; 如果 Nash 均衡不存在, 则向该 ISCA 所在的 ARA 发出请求

Step 4: ARA 响应请求, 对其所管辖的 ISCA 进行博弈协调, 寻求 Nash 均衡 如果 Nash 均衡不存在, 则该 ARA 向相邻的 ARA 发出请求

Step 5: 相邻的 ARA 响应请求, 并进行博弈协

调, 寻求Nash均衡 如果Nash均衡不存在, 则协调失败, ISCA保持原先的策略不变

## 5 仿真研究

本文采用的城市交通网络如图4所示, 利用TISIS软件进行仿真 城市交通网络中共有8个路口, 驾驶员分成6种类型, 加速延迟和减速延迟均为0.3s

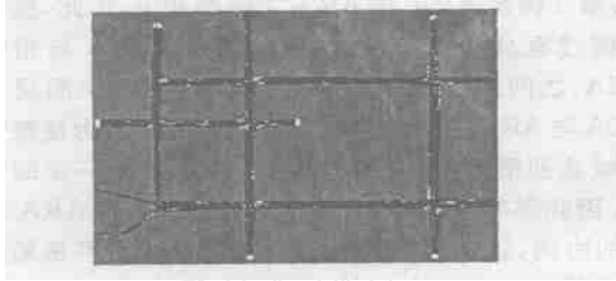


图4 仿真的城市交通网络

仿真中的车辆分为3种类型, 其中小汽车占80%, 卡车占5%, 合用车占15%。最大的车辆产生率为2500 veh/h 各种车辆的性能如表1所示

表1 仿真中各种车辆的性能

类型	长度 (feet)	最大速度 (mph)	最大减速度 (ft/s <sup>2</sup> )	比例 (%)
小汽车	15	65	15	80
卡车	35	60	15	5
合用车	14	55	15	15

本文采用的性能指标有两个: 所有车辆总的旅行时间和车辆的平均速度 具体的仿真结果如图5和图6所示

从图5和图6可以看出: 随着仿真时间的加长, 所有路口总的旅行时间也逐渐增大 但在仿真时间相同的情况下, 协调控制算法总的旅行时间要优于传统的感应控制算法, 一般情况下可提高8%左右 另外, 协调算法的车辆平均速度也明显优于感应算法, 大致可提高5%~7%, 有的可提高10%。这说明

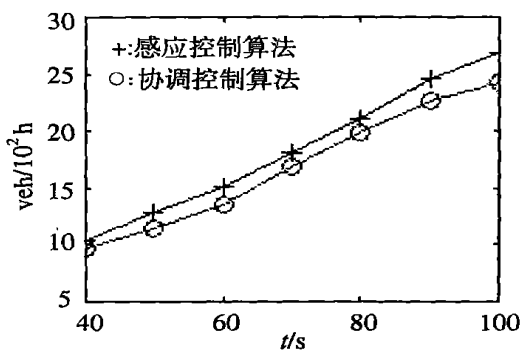


图5 旅行时间的比较

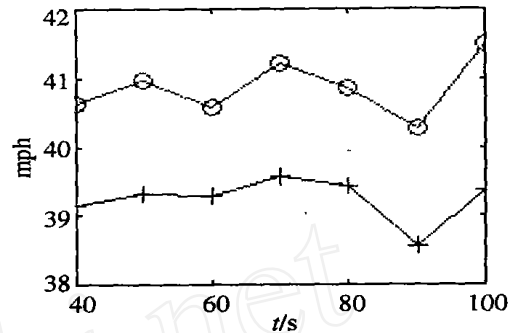


图6 平均速度的比较

本文的协调算法对于解决多路口的协调控制问题是比较有效的

## 6 结论

本文采用分布式环境下的agent技术对城市交通信号控制的建模和协调算法进行研究, 所建立的模型和提出的算法主要优点是能适应实时变化的交通环境, 克服了以往方法的一些不足 仿真实验结果表明, 基于博弈理论的协调算法比传统的感应控制算法优越, 此算法能较好地解决区域协调问题, 从而对整个城市交通网络进行优化

## 参考文献 (References):

- [1] Gartner N H. A demand-responsive strategy for traffic signal control[A]. *Transportation Research Record* [C]. Washington, 1983: 75-81.
- [2] Lin Cooke. Potential performance characteristics of adaptive control at individual intersections[A]. *Transportation Research Record* [C]. Washington, 1986: 30-33.
- [3] Webster. Traffic signal settings[R]. Road Research Laboratory, 1958: 1-44.
- [4] Jee Hyong Lee, Hyung Lee Kwang. Distributed and cooperative fuzzy controllers for traffic intersections group[J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1999, 29(2): 263-271.
- [5] Chiu S, Chang S. Adaptive traffic signal control using fuzzy logic[A]. *Proc IEEE Conf on Fuzzy Systems* [C]. 1993: 1371-1376.
- [6] Pappis C P, Mamdani E H. A fuzzy logic controller for a traffic junction[J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1977, 7(10): 707-717.
- [7] 徐冬玲, 方建安. 交通系统的模糊神经网络控制及神经网络实现[J]. *信息与控制*, 1992, 21(2): 74-78.
- [8] Wang Feiyue. A coordination theory for intelligent machines [D]. Rensselaer: Rensselaer Polytechnic Institute, 1990.