

基于模糊 Q 学习的分布式自适应交通信号控制

聂建强,徐大林

(江苏自动化研究所,江苏 连云港 222006)

摘要:针对当前城市区域交通状况复杂,难以用传统数学模型对其进行精确描述的特点,提出了一种基于模糊 Q 学习的分布式交通协调控制模型。该模型将每一个路口的交通控制系统看作一个独立的路口 Agent,每一个路口 Agent 根据预测的当前相位和下一相位的交通流信息以及下游路段的交通流信息采用模糊 Q 学习算法决策出当前相位的绿灯时间,最后利用 VISSIM4.2 交通仿真平台进行了简单网络仿真实验,验证了该算法的可行性。仿真结果表明,该模型运用于交通控制中相比于定时控制能有效提高路网控制效率。

关键词:交通状态;模糊控制;Q 学习;分布式交通协调控制

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)03-0171-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.03.043

Distributed Adaptive Traffic Signal Control Based on Fuzzy Q-Learning

NIE Jian-qiang, XU Da-lin

(Jiangsu Automation Research Institute, Lianyungang 222006, China)

Abstract: As current urban area traffic condition is quite complex, which is difficult to be described accurately with traditional mathematic model, a distributed traffic coordinated control model based on fuzzy Q-Learning algorithm is proposed in this paper. The model regards the traffic control system at every junction as an individual junction Agent. The Agent uses fuzzy Q-Learning algorithm to determine the current phase time based on the local phase traffic flow information, next phase traffic flow information and downstream road traffic flow information which is predicted. At last, utilize VISSIM4.2 simulation platform to simulate a simple traffic network and verify the algorithm. The results of simulation show that the model provided greatly improves the whole efficiency of road network traffic control over fixed time traffic control model.

Key words: traffic state; fuzzy control; Q-Learning; distributed traffic coordinated control

0 引言

车流高峰期的交通信号控制交叉口拥堵已经成为国内各大城市日常生活中的一部分,而且随着人口数量的日益增长和人们物质生活水平的提高,交通拥堵的状况还在加剧。根据实际交通状况实时优化交叉口信号控制方案是一种有效缓解交通拥堵的手段。随着计算机的发展,使得这一手段的应用成为可能。国内外许多学者在这方面做了大量相关的研究,都提出了自己的方法。早期的研究都集中于孤立的信号交叉口,没有考虑交叉口之间的相关性^[1,2],这与路口的实际情况相去甚远。于是,考虑区域交叉口之间相互影

响的动态区域协调控制成为了研究趋势。在这方面的研究,国外相对国内较早,目前已经拥有大规模应用的成熟区域协调交通控制系统,如 TRANSYT, SCATS, SCOOT, RHODES 等^[3]。而国内在区域协调控制领域的研究在近年也取得了长足的进步^[4~10]。刘小明首次在区域协调控制中引入了 Agent 的概念,包括路口 Agent 和路段 Agent,并且通过 Agents 间的协商来达到协调控制的目的^[4]。刘智勇提出将免疫遗传算法用于区域交通自适应协调控制^[5]。王春雷提出了基于双向并行灾变粒子群算法的区域协调控制算法^[6]。张辉提出了一种基于 Multi-Agent 技术的区域交通协调控制系统^[7]。钱勇生提出采用基于三群协调离子优化算法进行区域交通自适应协调控制^[8]。刘智勇提出了采用混沌模糊 Q 学习算法进行城市区域协调控制的算法^[9]。但是由于交通的复杂性及其多变性导致交通状况难以精确描述,导致上述算法在实用中取得的控制效果并不理想。

收稿日期:2012-06-04;修回日期:2012-09-08

基金项目:连云港重大建设项目(HTBRT201200103)

作者简介:聂建强(1988-),男,湖南娄底人,硕士研究生,研究方向为智能交通控制系统;徐大林,研究员,硕士研究生导师,研究方向为控制电机及自动控制技术、智能交通控制系统。

文中提出一种基于模糊 Q 学习的分布式交通控制模型^[10],该模型将每一个路口的交通控制系统看作一个独立的路口 Agent,每一个路口 Agent 根据预测的当前相位和下一相位的交通流信息以及下游路段的交通流信息采用模糊 Q 学习算法决策出当前相位的绿灯时间。仿真结果表明,该模型运用于交通控制中相比于定时控制能有效提高路网控制效率。

1 模糊 Q 学习

1.1 模糊推理系统

模糊推理系统是基于模糊集合理论的先进计算架构,主要分为以下三步来进行推理:模糊化、模糊推理和去模糊化。

(1)模糊化,根据隶属度函数计算精确的输入值对应的隶属度值。隶属度函数主要存储在数据库中。因此在模糊化过程中需要与数据库进行交互。

(2)模糊推理,根据模糊推理规则和相关模糊推理理论来决定合理模糊输出,模糊推理规则由一个规则库来存储。

(3)去模糊化,根据相关的去模糊化理论将推理所得的模糊输出结果转变为精确值。

一个典型的模糊推理系统结构图如图 1 所示。

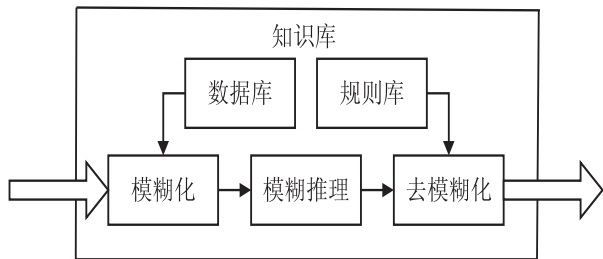


图 1 模糊推理系统

1.2 模糊 Q 学习算法

模糊 Q 学习算法(FQL)^[11]将 Q 学习算法与模糊推理系统相结合,在模糊推理系统中引入 Q 学习算法,从而减小状态和动作空间,在模糊规则库中融入先验知识,加快学习速度。具体做法是:首先将 Q 学习算法的状态和动作模糊化,分别作为模糊推理系统的输入和输出;然后通过模糊推理得到各个状态下执行不同动作的隶属度;最后在值函数 $FQ(s,a)$ 中嵌入所得隶属度。Q 学习算法的目标是优化一个可迭代计算的函数 $Q(s,a)$ 。同理,模糊 Q 学习算法中同样优化一个可迭代计算的函数 $FQ(s,a)$,其定义如下:

$$FQ(s,a) = E \{ [r + \gamma \max_{a' \in A} FQ(s',a')] \wedge u_c(s,a) \} \quad (1)$$

其中, E 为求期望, r 为状态 s 下执行动作 a 后的即时回报, γ 为折扣系数, s' 为执行动作 a 后的状态, a' 为后续动作, A 为动作集, $u_c(s,a)$ 为状态 s 下执行动作 a 的隶属度,“ \wedge ”为逻辑与操作。模糊 Q 学习

算法步骤如下:

(1)对 FQ 值进行初始化;

(2)从数据检测系统获取当前状态 s ;

(3)基于 ε -greedy 策略决定一个动作 a ;

(4)执行动作 a ,获得立即回报 r ,转移到下一个状态 s' ;

(5)根据式(2)更新 FQ 值:

$$FQ(s,a) \leftarrow FQ(s,a) + \alpha [r + \gamma \max_{a' \in A} FQ(s',a') \wedge u_c(s,a) - FQ(s,a)] \quad (2)$$

(6) $s \leftarrow s'$,返回到(3)继续,直到 FQ 收敛。

2 基于模糊 Q 学习的分布式自适应交通信号控制

2.1 分布式自适应交通信号控制策略

在进行信号控制交叉口分析和配时优化时,首先要划定车道组,以车道组的交通状况为根据进行分析和优化。每个进口道划定两个车道组,左转车道为一个车道组,直行车道和右转车道合并为一个车道组。

文中选用饱和度 x 来描述车道组的车流繁忙程度,如式(3)所示。

$$x_i = \frac{q_i}{Q_i} = \frac{q_i}{S_i(g_i/C)} = \frac{q_i C}{S_i g_i} = \frac{y_i}{u_i} \quad (3)$$

式中, q_i 为车道组 i 的实际车流量, Q_i 为车道组 i 的通行能力, S_i 为车道组 i 的饱和车流量, g_i 为车道组 i 的有效绿灯时间, C 为周期长度, y_i 为车道组 i 的流量比, u_i 为车道组 i 的绿信比。

文中将每一个信号控制交叉口的交通控制系统看作一个路口智能体 Agent^[12]。检测器将当前结束相位中各个车道组的检测流量传送给智能体,智能体预测计算出下一周期中当前结束相位中各个车道组流量,根据预测流量智能体进而计算出各个车道组饱和度进行状态模糊化,判断出下一周期当前结束相位各个车道组的交通环境状态。在每一相位开始前的 3 秒内(根据实际经验),智能体根据当前开始相位交通环境状态、下一相位交通环境状态和当前进口道对应下游路段交通环境状态及模糊规则确定各个 Agent 动作的隶属度,进而根据不同 Agent 动作下预测的回报函数值确定 FQ 值,再由 ε -greedy 策略选择动作,进而决策出当前相位绿灯时间。各个车道组的流量利用前 5 个周期的实际流量进行简单预测,如式(4)所示。

$$v_{i0} = \frac{\sum_{j=1}^5 v_{ij} \beta^j}{\sum_{j=1}^5 \beta^j} \quad (4)$$

式中, v_{ij} 表示 i 车道组第 j 个周期的流量, j 为 0 表示下一个周期, β^j 表示第 j 个周期的流量的权重,

$\beta^i \in (0,1)$,在该预测模型中,时间越近则影响越大。

2.2 交通环境状态和 Agent 动作的模糊化

2.2.1 交通环境状态模糊化

交通环境状态由两部分组成,即本地交通环境状态和下游路段交通环境状态,而本地交通环境又由当前相位交通环境状态和下一相位交通环境状态组成。不妨设交通环境状态 $S = (S_1, S_2, S_3)$, 其中 S_1 为当前相位交通环境状态, S_2 为下一相位交通环境状态, S_3 为下游路段交通环境状态。相位交通环境状态为该相位关键车道组交通环境状态。路段交通环境状态为该路段进口道关键车道组交通环境状态。车道组交通环境状态由车道组饱和度进行模糊化获得。

将车道组饱和度作为优化绿灯放行时间的交通状态进行模糊化,模糊变量记为 X ,其论域为 $[0,1]$,取三个语言值: X_1 (空闲), X_2 (顺畅), X_3 (拥挤)。其隶属度函数如图 2 所示。

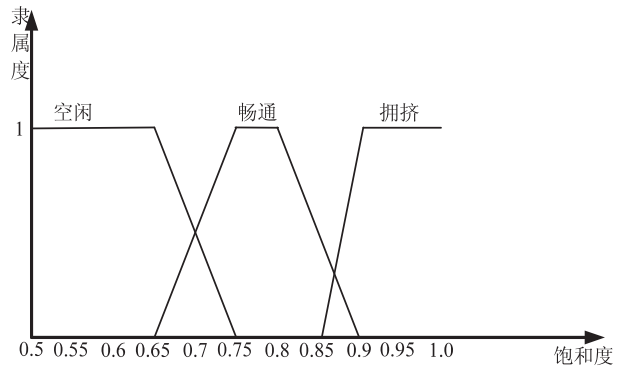


图2 车道组饱和度隶属函数

2.2.2 Agent 动作的模糊化

优化绿灯时间时路口 Agent 的动作为绿灯时间的增量^[13],模糊变量记为 G ,其论域为(单位:s):

$G = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$

取 7 个模糊语言变量: G_1 (负大), G_2 (负中), G_3 (负小), G_4 (零), G_5 (正小), G_6 (正中), G_7 (正大),其赋值表如表 1 所示。

表1 模糊变量 G 赋值表

语言值	绿灯时间增量/s						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
G_1 (负大)	1.0	0.5	0.2	0	0	0	0
G_2 (负中)	0.5	1.0	0.5	0.2	0	0	0
G_3 (负小)	0.2	0.5	1.0	0.5	0.2	0	0
G_4 (零)	0	0.2	0.5	1.0	0.5	0.2	0
G_5 (正小)	0	0	0.2	0.5	1.0	0.5	0.2
G_6 (正中)	0	0	0	0.2	0.5	1.0	0.5
G_7 (正大)	0	0	0	0	0.2	0.5	1.0

2.3 模糊控制规则和回报函数设计

模糊控制规则如表 2 所示。

表2 模糊控制规则表

S_3	S_1	S_2		
		X_1 (空闲)	X_2 (畅通)	X_3 (拥挤)
X_1 (空闲)	X_1 (空闲)	G_1 (负大)	G_1 (负大)	G_1 (负大)
	X_2 (畅通)	G_4 (零)	G_4 (零)	G_3 (负小)
	X_3 (拥挤)	G_7 (正大)	G_6 (正中)	G_5 (正小)
X_2 (畅通)	X_1 (空闲)	G_1 (负大)	G_1 (负大)	G_1 (负大)
	X_2 (畅通)	G_4 (零)	G_4 (零)	G_3 (负小)
	X_3 (拥挤)	G_6 (正中)	G_5 (正小)	G_5 (正小)
X_3 (拥挤)	X_1 (空闲)	G_1 (负大)	G_1 (负大)	G_1 (负大)
	X_2 (畅通)	G_4 (零)	G_2 (负中)	G_3 (负小)
	X_3 (拥挤)	G_5 (正小)	G_4 (零)	G_3 (负小)

回报函数设为 $r = |i - 2| + |j - 2| + |k - 2|$, i, j, k 分别为 S_1, S_2, S_3 对应交通环境状态 $G_n, n = 1, 2, 3$ 的下标,其目的在于根据 Agent 执行动作后对环境造成的影响进行奖惩,如果环境获得改进,则动作的回报值为正,如果环境获得恶化,则动作的回报值为负。

3 仿真分析

文中在 VS2008 环境下编写 VISSIM4.2 的 COM 接口程序,基于以上模型和算法,仿真如图 3 所示的简单交通网络。主要仿真参数设置如下:仿真时间为 3600 秒,时间间隔为 50 秒,并且不考虑行人和公交车辆的影响。各信号交叉口的转向率为 $\{p_{右}, p_{直}, p_{左}\} = \{0.2, 0.6, 0.2\}$,采用如图 1 所示的相位设置,东南西北路段的右转车辆与直行车辆同时放行,各车道饱和和流量为 1800veh/h。算法设置如下:Q 学习因子 α 取 0.2, γ 取 0.95, ε 取 0.1,最小绿灯时间为 10 秒,最大绿灯时间为 40 秒。交叉口均为四相位控制,交叉口间的距离东西向和南北向均为 400m,采用的性能指标为 D , D 为路网中的平均延误时间。仿真实验对定时控制和自适应控制方式的性能指标—路网平均延误进行了对比,路网中各个发车点为 2000veh/h 的仿真路网平均延误结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,采用模糊 Q 学习自适应控制可以有效提高路网平均延误,并且经过统计分析发现,在路网发车点为 2000veh/h 的情况下,模糊 Q 学习自适应控制相比于定时控制路网平均延误降低了 20.37%。

4 结束语

文中所采用的模糊 Q 学习算法极大地简化了状态和动作空间,正好迎合了人们在进行交通状况判断与交通疏导时的常规思维方式,避免了出人意料的控制方案造成不必要的时间浪费。Q 学习算法自身的学习能力使得交通控制行为不断地适应实际交通状况的

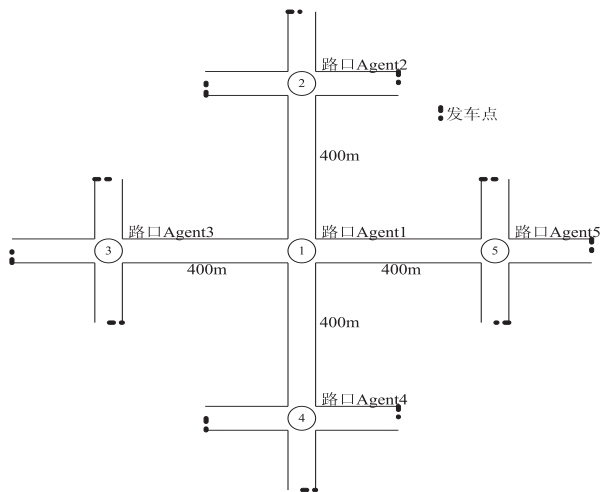


图 3 仿真路网图

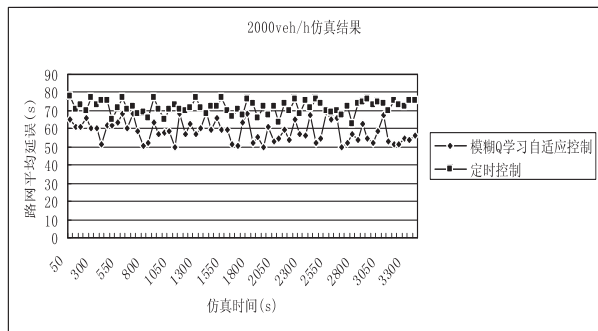


图 4 发车量 2000veh/h 仿真结果

变化,从而大大提高该控制模型的自适应性能,相应地提高了交通控制的智能化水平。但文中所提出的算法模型目前还只是一个相对比较粗略的协调控制模型,还需要更好地根据交通实际运行情况进行细化,以建立更完善适应性更强的分布式协调控制模型。

(上接第 170 页)

集设计与实现过程,设计了一种简单有效的视频图像采集方法。随着 Windows Embedded CE 应用领域的拓展,该设计能够很好地满足开发需求,将得到很好的运用。

参考文献:

- [1] 汤仁锋,贾琇明,孟志军,等.基于 WinCE 的土样采集系统的设计与实现[J].计算机技术与发展,2007,17(4):13-16.
- [2] 陈莲娜.基于 S3C44BOX 的低功耗移动采集终端设计[J].计算机技术与发展,2008,18(4):161-164.
- [3] 唐人才,刘连浩.基于嵌入式 Linux 远程图像监控系统的设计[J].计算机与现代化,2010(11):31-34.
- [4] 李文新,王广龙,陈建辉.基于 WINCE 的嵌入式视频数据采集系统设计[J].电子设计工程,2010,18(7):139-142.
- [5] 梁银丽,苏敏.基于 ARM 和 WINCE 的 USB 视频采集系

参考文献:

- [1] 陈洪,陈森发.单路口交通实时模糊控制的一种方法[J].信号与控制,1992,21(2):74-78.
- [2] Kim Jong-Wan. A fuzzy logic control simulator for adaptive traffic management[C]//FUZZ-IEEE '97. Spain: The IEEE Neural Network Council, 1997:1519-1524.
- [3] 刘智勇.智能交通控制理论及其应用[M].北京:科学出版社,2003.
- [4] 刘小明,王飞跃.基于 Agent 的区域交通流协调控制的研究[J].计算机工程,2003,29(9):45-47.
- [5] 刘智勇,李水友.基于免疫遗传算法的区域交通自适应协调控制[J].控制理论与应用,2006,23(1):119-125.
- [6] 王春雷,钱勇生.基于双向并行灾变粒子群算法的区域交通控制[J].计算机工程与应用,2007,43(34):229-232.
- [7] 张辉,陈阳舟,杨玉珍,等.基于 Multi-Agent 的区域交通协调控制研究[J].交通与计算机,2006,24(2):94-98.
- [8] 钱勇生,王春雷.基于三群协同粒子群优化算法的区域交通控制[J].计算机工程与应用,2007,43(14):187-189.
- [9] 刘智勇,宋正东.城市区域交通信号的混沌模糊 Q 学习控制[J].计算机工程与应用,2012,48(4):207-211.
- [10] 任晓莉.基于 WSN 的路口交通信号控制设计[J].计算机技术与发展,2011,21(10):193-196.
- [11] 邓军.SA-FQL 算法在区域交通控制中的应用研究[D].江门:五邑大学,2009.
- [12] Gokulan B P, Srinivasan D. Distributed Geometric Fuzzy Multiagent Urban Traffic Signal Control[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3):714-726.
- [13] Heung T H, Ho T K, Fung Y F. Coordinated Road-junction Traffic Control by Dynamic Programming[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(3):341-350.
- [14] 陈洪,陈森发.单路口交通实时模糊控制的一种方法[J].信号与控制,1992,21(2):74-78.
- [15] Kim Jong-Wan. A fuzzy logic control simulator for adaptive traffic management[C]//FUZZ-IEEE '97. Spain: The IEEE Neural Network Council, 1997:1519-1524.
- [16] 刘智勇.智能交通控制理论及其应用[M].北京:科学出版社,2003.
- [17] 刘小明,王飞跃.基于 Agent 的区域交通流协调控制的研究[J].计算机工程,2003,29(9):45-47.
- [18] 刘智勇,李水友.基于免疫遗传算法的区域交通自适应协调控制[J].控制理论与应用,2006,23(1):119-125.
- [19] 王春雷,钱勇生.基于双向并行灾变粒子群算法的区域交通控制[J].计算机工程与应用,2007,43(34):229-232.
- [20] 张辉,陈阳舟,杨玉珍,等.基于 Multi-Agent 的区域交通协调控制研究[J].交通与计算机,2006,24(2):94-98.
- [21] 钱勇生,王春雷.基于三群协同粒子群优化算法的区域交通控制[J].计算机工程与应用,2007,43(14):187-189.
- [22] 刘智勇,宋正东.城市区域交通信号的混沌模糊 Q 学习控制[J].计算机工程与应用,2012,48(4):207-211.
- [23] 任晓莉.基于 WSN 的路口交通信号控制设计[J].计算机技术与发展,2011,21(10):193-196.
- [24] 邓军.SA-FQL 算法在区域交通控制中的应用研究[D].江门:五邑大学,2009.
- [25] Gokulan B P, Srinivasan D. Distributed Geometric Fuzzy Multiagent Urban Traffic Signal Control[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3):714-726.
- [26] Heung T H, Ho T K, Fung Y F. Coordinated Road-junction Traffic Control by Dynamic Programming[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(3):341-350.
- [27] 陈洪,陈森发.单路口交通实时模糊控制的一种方法[J].信号与控制,1992,21(2):74-78.
- [28] Kim Jong-Wan. A fuzzy logic control simulator for adaptive traffic management[C]//FUZZ-IEEE '97. Spain: The IEEE Neural Network Council, 1997:1519-1524.
- [29] 刘智勇.智能交通控制理论及其应用[M].北京:科学出版社,2003.
- [30] 刘小明,王飞跃.基于 Agent 的区域交通流协调控制的研究[J].计算机工程,2003,29(9):45-47.
- [31] 刘智勇,李水友.基于免疫遗传算法的区域交通自适应协调控制[J].控制理论与应用,2006,23(1):119-125.
- [32] 王春雷,钱勇生.基于双向并行灾变粒子群算法的区域交通控制[J].计算机工程与应用,2007,43(34):229-232.
- [33] 张辉,陈阳舟,杨玉珍,等.基于 Multi-Agent 的区域交通协调控制研究[J].交通与计算机,2006,24(2):94-98.
- [34] 钱勇生,王春雷.基于三群协同粒子群优化算法的区域交通控制[J].计算机工程与应用,2007,43(14):187-189.
- [35] 刘智勇,宋正东.城市区域交通信号的混沌模糊 Q 学习控制[J].计算机工程与应用,2012,48(4):207-211.
- [36] 任晓莉.基于 WSN 的路口交通信号控制设计[J].计算机技术与发展,2011,21(10):193-196.
- [37] 邓军.SA-FQL 算法在区域交通控制中的应用研究[D].江门:五邑大学,2009.
- [38] Gokulan B P, Srinivasan D. Distributed Geometric Fuzzy Multiagent Urban Traffic Signal Control[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010, 11(3):714-726.
- [39] Heung T H, Ho T K, Fung Y F. Coordinated Road-junction Traffic Control by Dynamic Programming[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(3):341-350.

基于模糊Q学习的分布式自适应交通信号控制

作者: [聂建强, 徐大林](#)
作者单位: [江苏自动化研究所, 江苏 连云港 222006](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(3)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201303045.aspx