

基于数字荷尔蒙模型的信号灯配时优化的研究

方良松, 余春艳

(福州大学 数学与计算机学院, 福建 福州 350002)

摘要:文中针对智能交通系统中信号灯配时问题,在已有模糊控制理论的基础上,结合了数字荷尔蒙模型(DHM),并提出了一种新的信号灯控制机制——基于DHM的模糊控制算法(FDHM)。模糊理论利用模糊规则来表示具有不确定性的数据;数字荷尔蒙模型通过它的吸引因子和抑制因子的变化和传播来获得系统全局最优的方案。文中的系统实现了运用FDHM控制信号灯的优化配时。

关键词:智能交通系统;模糊控制;数字荷尔蒙模型;模糊规则;吸引因子;抑制因子

中图分类号:TP18

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)01-0143-04

Digital Hormones Model - Based Optimal Time Assignment of Traffic Signal Cycle

FANG Liang-song, YU Chun-yan

(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Aiming at the signal light timing problem in the intelligence transportation system, proposed a new signal light control mechanism FDHM combined digital hormone model with fuzzy control algorithm. The fuzzy theory with fuzzy rule is employed to indicate the uncertainty data. And the system's globally optimal solution is achieved through the digital hormone model with dissemination of activator and inhibitor. FDHM is realized to control the signal light optimized timing in this paper.

Key words: intelligence transportation system; fuzzy control; digital hormone model; fuzzy rule; activator; inhibitor

0 引言

在智能交通系统中,信号灯的控制是最不可或缺的部分。信号灯的基本属性有:周期长、绿信比和相位差,对信号灯的控制的目的就是通过对这三个属性的优化配置,来达到一个高效的交通控制方案。同时,信号灯的控制也是通信能力和交通安全的瓶颈。其原因主要两方面:一是道路规划设计的路段通行能力已不能满足目前交通量的最大需求;二是路口信号灯没有进行最佳配置造成交叉口不必要的拥塞。因此研究交通信号灯最优配时方案十分必要。

1 信号灯配时系统的国内外现状

目前,国内外对信号灯配时方面所做的研究主要

采用的算法有模糊理论^[1,2]、神经网络^[3,4]和遗传算法^[3,5]。

模糊控制理论可以通过自身的模糊控制规则来处理不确定的信息,而智能交通系统中就包含有很多不确定的因素,所以很适合应用于智能交通系统中。神经网络具有自学习能力、联想记忆功能、分布式并行信息处理功能等方面的优点,在智能交通系统中可以发挥很好的效果。遗传算法中的交叉和变异运算可以大大减少初始状态的影响,应用在智能交通系统中,可以使搜索得到最优的结果而不停留在局部最小处。

神经网络和遗传算法都能很好地提高信号灯的运作效率,但同时也存在着一些问题。神经网络本质上是一种只考虑局部区域的梯度法,缺乏全局性,有可能仅优化到局部极值部分,其调整的收敛性依赖于初始状态的选择。而遗传算法是一种集中式的算法,需要收集整个路网的所有交叉口的信息,再对其进行计算控制,比较耗时耗力。

2 信号灯配时问题模型

信号灯配时优化的目的是要提出一个信号灯配时

收稿日期:2008-05-28

基金项目:福建省科技人才创新项目(2005J011);福州大学科技发展基金资助项目(2005-XQ-22)

作者简介:方良松(1983-),男,福建福州人,硕士研究生,研究方向为计算机智能计算;余春艳,副教授,研究方向为计算机智能计算与图像网格技术。

方案,以获得对交通信号灯的比较合理的控制;而要达到这样的目的,需要建立一个模拟信号灯配时的问题模型。

2.1 信号灯配时问题的基本概念

路网结构和信号灯相位是信号灯配时优化问题的两个基本概念,也是整个系统的基础。要构建一个信号灯配时系统,首先必须确定交通系统的路网结构和分配信号灯相位。

在信号灯配时系统中,需要建立一个层次化、模块化的交通路网模型。每个交通实体都抽象为一个对象模型,因此可以通过对每个模型的功能扩展来达到逼真的模拟路网中的各种交通行为。同时,由于它是一个层次化的体系结构,使整个模型结构清晰、功能具体,便于以后在此基础上的进一步完善。图 1 给出了智能交通系统中的基本路网结构图。

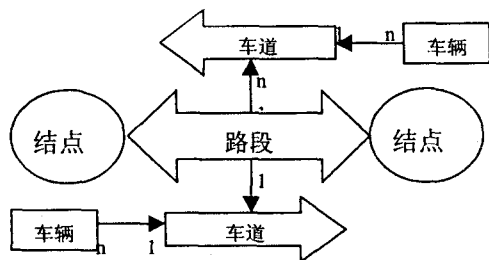


图 1 基本路网结构图

确定相位信号方案,是用交通信号轮流给某些方向的车流或行人分配通行权顺序的确定。相位方案是在一个信号周期内,安排了若干种控制状态,每一种控制状态对应某些方向的车辆或行人配给通行权,并合理安排这些控制状态的显示次序以及显示时间。在一个十字路口,一般设成四相位的信号灯方案^[6],如图 2 所示。

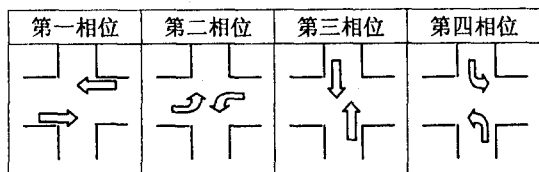


图 2 四相位信号灯配时图

2.2 信号灯配时问题模型描述

在信号灯仿真系统的运行中,会生成四个重要的数据:车辆的转向、车辆的等待时间、车道的车辆等待数以及车道的总等待时间。每个车辆自身包含了车辆的转向和车辆等待时间信息,车辆的转向用 $Tran_k(t)$ 表示,其中 k 表示车辆, t 表示时间,说明了某一时刻车辆的下一转向;车辆等待时间用 $WT_k(t)$ 表示,其中 k 表示车辆, t 表示时间,说明了车辆在某一时刻的等待时间。车道的车辆等待数和车道的总等待时间是车道

所携带的信息,车道的车辆等待数用 $WN_i(t)$ 表示,其中 i 表示车道 ID, t 表示某一时刻,说明某一时刻某一车道在等待中的车辆数;车道总等待时间用 $WTT_j(t)$ 表示,它的计算公式见式(1)。

$$WTT_j(t) = \sum_{k \in Road_j} WT_k(t) \quad (1)$$

其中 j 表示路段, k 表示车辆, t 表示时间,说明了某一时刻某个车道的所有车辆的总等待时间。

信号灯配时系统目的是找出整个路网配时的最优方案,需要得到的变量有每个路口的绿灯相位和所分配的绿灯时间。绿灯相位用 $G(n)$ 表示,取值为 $\{1, 2, 3, 4\}$,表示上、右、下、左四个相位, n 表示交叉口;绿灯时间用 $T(n)$ 表示, n 表示交叉口。

信号灯配时系统中,为了让车辆的等待时间尽量地降低,使每个车辆不至于等待整个的信号灯周期时间,需要让上一红灯时间中停留的车辆都能在本次绿灯时间开始行驶,所以,需要满足这样一个约束条件:

$$T(n) \geq C/q \quad (2)$$

其中 C 为上一次红灯时间所滞留的车辆数, q 为车辆行驶出交叉口的速度。

一般来说,交通信号配时优化是把单个路口或者整个路网的交通效益作为优化目标。评判交通效益的指标有:通行能力、车辆等待时间、排队长、停车次数、停车率、油耗、行驶时间等等。文中的主要优化目标是路网的通行能力和车辆等待时间,以及降低油耗和行驶时间。优化控制的目标函数是:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j \in \text{Phase}(i)} (aI_i(t) + (1-a)W_i(t)) \right\} \quad (3)$$

其中, n 表示所有的路口数, $\text{Phase}(i)$ 表示第 i 路口的相位, a 是等待车辆数和等待时间的权重比。

3 基于 DHM 的模糊控制算法

对信号灯配时优化控制,文中采用的是 DHM 加模糊控制的方式。

3.1 数字荷尔蒙模型

数字荷尔蒙模型包括三个部分:一个动态网络、单个计算粒子的行为规则和荷尔蒙反应、扩散规则^[7]。

动态网络反映 N 个对等的计算粒子之间的拓扑结构。其中每一个计算粒子都有一组接口,通过这个接口,计算粒子可以连接到与之相关的计算粒子,计算粒子与计算粒子之间的这种接口是不确定的,根据环境的改变而动态生成。DHM 的第二部分是计算粒子行为的规格。每个计算粒子在网络中根据相同的机率函数来选择它的行动。最后是荷尔蒙反应、扩散规则,运动中的荷尔蒙浓度 C 的变化如式(4):

$$\frac{\partial C}{\partial t} (a_1 \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}) + R - bC \quad (4)$$

数字荷尔蒙模型为计算粒子提供一个非常强有力的协调机制。通过这个协调机制,大量行为不确定的计算粒子可以形成一个确定的全局模式。全局模式的具体样式的不确定的,完全依赖于底层计算粒子之间相互作用;同时,全局模式又是确定性的,计算粒子之间的不确定的行为必然会自下而上地涌现出一个全局模式。在某个特定时候,计算粒子感知周围环境的信息,根据内部的行为规则选择并且执行一个或多个行动。这些规则可以是确定性的也可以是概率性的。给定网络、计算粒子、荷尔蒙、行为和规则,计算粒子在异步中执行基本控制,如下循环^[8]:

- 1) 所有计算粒子由它们的行为规则选择行动;
- 2) 所有计算粒子执行它们所选择的行动;
- 3) 所有位置更新荷尔蒙浓度;
- 4) 返回步骤 1。

在数字荷尔蒙模型中,两个简单的行为规则控制着计算粒子的行为。第一个规则是:“计算粒子在每一步分泌吸引因子和抑制因子”;第二个规则是说:“计算粒子是根据不同位置的荷尔蒙浓度来决定移动的位置”。根据这样的行为规则,在初始状态,计算粒子随机地分布在动态网络中。步骤一,计算粒子首先接受它所处点的相应信息,结合自身的一些数据,计算它的行为。步骤二中的计算粒子执行步骤一中选择的行为,移动到相应的位置中。当计算粒子的位置发生变化时,计算粒子所接收和发送的荷尔蒙信息,以及整个网络的括扑结构都发生了变化,在步骤三中,系统更新这些变化。

3.2 DHM 在信号灯配时中的应用

DHM 模型很适合应用于交通系统中,DHM 中的计算粒子代表车辆以及路口的信号灯;动态网络代表了交通系统的路网结构;车道的等待车辆数和车辆等待时间就表示了计算粒子之间传递的荷尔蒙浓度;荷尔蒙在计算粒子之间的传播通过无线通信来实现。

根据数字荷尔蒙模型理论,各个路口的信号灯只要关心本路口以及相邻路口的车辆信息,通过这些信息生成的控制方案就能够达到交通灯的优化控制。这种方式通过各个路口分布式的管理来达到全局面控的效果。

信号灯配时系统中,各个路口选择信号灯配时方案的步骤如下:

- 1) 通过 DHM,决定每个路口的配时方案;
- 2) 每个路口的所有相位执行它们各自的行动;
- 3) 所有路口更新荷尔蒙浓度;

4) 返回步骤 1。

基于 DHM 的信号灯控制中,信号灯和车辆被模拟成一个个计算粒子。当车辆行驶进一个相位的相邻路口或者本路口,车辆就跟该相位的信号灯产生链接。车辆把自己的状态以及等待时间以荷尔蒙的形式传给有链接相位的路口,路口根据所有相位相关联的车辆的位置以及等待时间通过公式(4)计算出每个相位的荷尔蒙值,再决定分配绿灯的相位和时间。

3.3 基于数字荷尔蒙模型的模糊控制理论 FDHM

文中采用了 DHM 加二级模糊控制(FDHM)的方法对信号灯进行控制。这种理论的结合可以体现出它们在信号灯应用中的优点。在数据计算方面,数字荷尔蒙模型可以使信号灯的配时达到全局面控的效果;而在信息表示方面,通过模糊理论的模糊规则表示,能够更好地表示出车流量、等待时间等不确定性的数据。

图 3 给出了该算法的结构图。图中,绿信模块负责根据车道信号检测器检测到的交通信息判断当前绿信方向交通状况,确定当前的绿信繁忙度,并将其传送给决策模块;红信模块负责根据车道信号检测器检测到的交通信息判断当前除绿信外的所有红信方向的交通状况,确定各红信方向等待绿信的紧急度,并且将最为紧急的红信方向及其等待绿信的紧急度传给决策模块;DHM 模块负责接受这些输入数据,通过数字荷尔蒙模型,计算出相应的值,最后输出这些结果,包括绿灯信号的相位和时间等等。

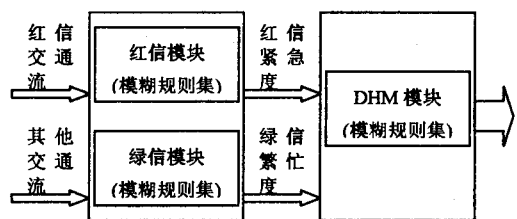


图 3 DHM 加二级模糊控制算法结构图

4 仿真实验

仿真实验的发车模式采用泊松分布:

$$P_k = \frac{M^k e^{-M}}{K!} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{K!} \quad (5)$$

式中: λ 为车辆的平均到达率; t 为计数间隔的持续时间。

泊松分布适用于车辆随机到达,流量不大,车辆间相互影响微弱,可以只有行驶的情况。泊松分布可以很好地模拟出现实的车辆的起始点和目标点的随机性,很适合仿真系统中使用。

实验中采用四相位的方式,各个相位之间是不固定的,利用图 4 所示的路网结构进行仿真实验。在不

同时间长度内,分别进行了多次的实验,对多次的实验取其平均值。运行结构如图 5 所示。图中,横坐标为时间,纵坐标为车辆到达目的地的百分比,即到达车辆数与发车数的比值。

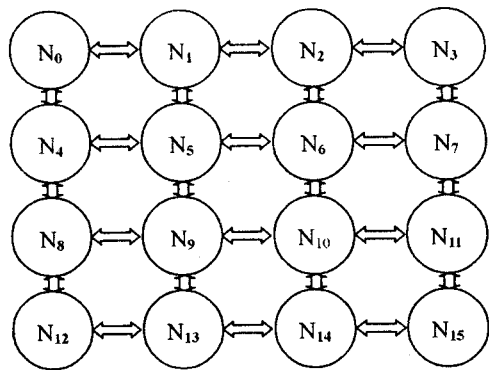


图 4 路网结构

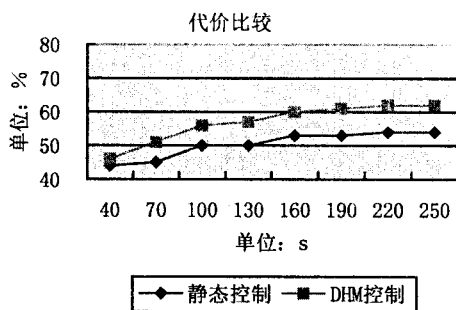


图 5 规则路网结构的代价比较

从实验的结果可以看到,采用 FDHM 对信号灯进行控制,都能使运行代价有很明显的改善。此外,从图中可以看到:系统运行时间越长,所改进的效果越明显。

5 结束语

文中介绍了目前对信号灯优化配时的研究。首先

阐述了信号灯配时优化方面的相关基础知识。然后详细介绍了数字荷尔蒙模型在信号灯配时中的应用,并结合模糊控制理论,提出了一种新的信号灯配时优化方法:基于数字荷尔蒙模型的模糊控制算法(FDHM)。最后,对该理论在信号灯控制方面的应用进行了仿真实验。智能交通系统研究的目的在于实现整个城市交通控制信号的全局优化,即单个交叉口的控制要服从全局的调度,局部的最优要服从全局的最优。数字荷尔蒙模型及其与其他算法的协调应用仍是今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 丁爱萍,杜 干.基于模糊控制的智能交通系统[J].微计算机信息,2006(13):30-31.
- [2] 曹 洁,苏玉萍,吴国龙,等.城市交通信号灯两级模糊控制及仿真研究[J].交通与计算机,2007(1):82-85.
- [3] 李威武.城域智能交通系统中的控制与优化问题研究[D].杭州:浙江大学,2003.
- [4] 汤志康,郑积仕,王伟智.基于模糊神经网络的单交叉口变相序控制[J].浙江交通职业技术学院学报,2006(2):29-32.
- [5] 杨煜普,欧海涛.基于再励学习与遗传算法的交通信号自组织控制[J].自动化学报,2002(4):564-568.
- [6] 高丽颖,陈阳舟,李振龙.基于 Agent 控制器的单路口信号灯学习控制方法研究[J].交通与计算机,2007(5):59-62.
- [7] Shen Wei-Min, Will P, Galstyan A. Hormone - Inspired Self - Organization and Distributed Control of Robotic Swarms [D]. Marina del Rey, CA, USA: Information Sciences Institute, University of Southern California, 2004.
- [8] Shen Wei - Min, Chuong Cheng - Ming, Will P. Simulating Self - Organization for Multi - Robot Systems[D]. Los Angeles: Information Sciences Institute, University of Southern California, 2002.

(上接第 142 页)

流,从而把正在运行中的 workflow 迁移至新 workflow,适应 workflow 发生变化的实际问题。

参考文献:

- [1] van der A W M P, Jablonski S. Dealing with workflow change:identification of issues and solutions[J]. International Journal of Computer Systems, Science, and Engineering, 2000, 15(5):267-276.
- [2] Sadiq S, Sadiq W, Orłowska M. Pockets of flexibility in workflow specifications[C]//Proceedings of the 20th International Conference on Conceptual Modeling. Yohohama, Japan: Springer, 2001:513-526.

- [3] Casatiff, Ceris, Pernicib, et al. Workflow evolution [C]//Proceedings of the 15th Interational Conference on Conceptual Modeling. Cottbus, Germany: Springer, 1996:438-455.
- [4] Kradol Fer M, Geppert A. Dynamic workflow schema evolution based on workflow type versionig and workflow migration [C]//Proceedings of the 4th IFCIS International Conference on Cooperative Information Systems. Edinburgh, Scotland: IEEE Computer Society, 1999:104-111.
- [5] 周明天,王敏毅,姚绍文.一种基于扩展任务模型结构的工作流实例迁移方法[J].软件学报,2003,14(4):757-763.
- [6] 邓水光.动态 workflow 建模方法的研究与设计[J].计算机集成制造系统,2003,10(6):601-607.