



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108648446 B

(45)授权公告日 2020.08.21

(21)申请号 201810374659.1

US 2016379490 A1,2016.12.29

(22)申请日 2018.04.24

US 2017069203 A1,2017.03.09

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108648446 A

Zhao Zhou, Bart De Schutter, Shu Lin, Yugeng Xi. Two-Level Hierarchical Model-Based Predictive Control for Large-Scale Urban Traffic Networks.《IEEE Transactions on Control Systems Technology》.2017,第25卷(第2期),496~508.

(43)申请公布日 2018.10.12

(73)专利权人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市下城区潮王路18号

刘小明,唐少虎,朱凤华,陈兆盟.基于MFD的城市区域过饱和交通信号优化控制.《自动化学报》.2017,第43卷(第7期),第1220~1233页.

(72)发明人 杨曦 黄青青 沈国江 刘志

朱李楠 刘端阳 阮中远

丁恒,朱良元,蒋程镔,袁含雨.MFD子区交通状态转移风险决策边界控制模型.《交通运输系统工程与信息》.2017,第17卷(第5期),第104~111页.

(74)专利代理机构 杭州天正专利事务所有限公司

33201

代理人 王兵 黄美娟

Nikolas Geroliminis, Carlos F. Daganzo.Existence of urban-scale macroscopic fundamental diagrams: Some experimental findings.《Transportation Research Part B: Methodological》.2008,第42卷(第9期),759~770. (续)

(51)Int.Cl.

G08G 1/01(2006.01)

(续)

审查员 田华

(56)对比文件

CN 104899360 A,2015.09.09

CN 106971565 A,2017.07.21

CN 101281685 A,2008.10.08

CN 101639978 A,2010.02.03

CN 103050016 A,2013.04.17

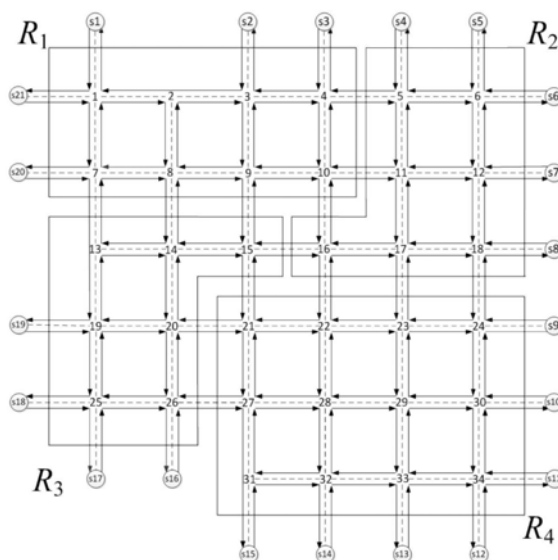
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种基于MFD的路网交通信号迭代学习控制方法

(57)摘要

针对我国城市交通量大,城市规模庞大,结构复杂等特点,本发明考虑基于MFD的路网交通信号迭代学习控制的方法.包括步骤一:1.1获取子区MFD的交通数据;1.2子区MFD拟合;1.3基于MFD确定道路理想占有率.步骤二:2.1开闭环迭代学习控制策略;2.2建立状态空间方程;2.3优化各交叉口的信号配时.本发明能使路网的整体结构达到相对均衡,提高子区的流出车辆,从而提高路网通行量,为交通管理者提供了一种有效的城市路网控制手段,提高了城市路网的交通服务水平.



CN 108648446 B

[接上页]

(51) Int.Cl.

*G08G 1/08*(2006.01)

*G08G 1/081*(2006.01)

*G06F 17/16*(2006.01)

(56)对比文件

张逊逊,许宏科,闫茂德.基于MFD的城市区域路网多子区协调控制策略.《交通运输系统工程与信息》.2017,第17卷(第1期),第98~105页.

1. 一种基于MFD的路网交通迭代学习控制方法,其特征在于利用MFD结合迭代学习控制的思想对大型的城市路网进行信号控制,步骤如下:

1) 基于MFD获取道路理想占有率:

1.1 获取子区MFD的交通数据:将一个规模较大的城市路网进行划分,得到若干个子区 $R_i$ ,其中 $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$ ,子区划分的算法采用Ncuts算法进行划分,将大规模的城市路网分解为多个“同质”的子区,得到各个子区的交通数据;

1.2 子区MFD拟合:通过各子区的交通数据,不同时刻的累积车辆数和子区的输出流量的MFD特性,采用3阶多项式进行拟合,对于任意子区 $R_i$ 拟合形式如下:

$$G(n_i) = a_1 \times n_i^3 + a_2 \times n_i^2 + a_3 \times n_i + a_4 \quad (1-1)$$

其中, $n_i$ 为子区 $R_i$ 的累积车辆数, $a_1 \sim a_4$ 为拟合系数;

采用最小二乘法确定经验公式中的拟合系数:

$$\min \sum_i \delta_i^2, \quad \delta_i^2 = (G(n_i) - y_i)^2 \quad (1-2)$$

其中, $y_i$ 为子区 $R_i$ 的实际输出流量, $G(n_i)$ 为子区 $R_i$ 流量的近似拟合曲线,根据上式最小化数据偏差 $\delta_i^2$ ,从而得到MFD的拟合结果,根据拟合结果求得拟合曲线的极值点 $\tilde{n}_i$ ;

1.3 确定道路理想占有率:根据步骤1.2的MFD拟合结果,得到各子区的最佳累积车辆数 $\tilde{n}_i$ ;根据子区 $R_i$ 的网络结构对子区内部的车辆加权处理,得到子区 $R_i$ 中各道路的理想占有率:

$$o_j^d = \frac{\sum_{i=1}^k \tilde{n}_i}{\sum_{i=1}^k D_i} \quad (1-3)$$

其中 $\tilde{n}_i$ 为步骤1.2子区 $R_i$ 的MFD拟合得到的最佳累计车辆数, $D_i$ 表示子区 $R_i$ 内的各路段长度之和, $o_j^d$ 为道路 $j$ 的理想占有率(其中 $j \in R_i$ ),作为步骤2)中系统控制设计的参考目标;

2) 基于迭代学习控制优化交叉口信号配时:

2.1 开闭环迭代学习控制策略:开闭环的迭代学习控制结构可以表示为以下形式:

$$u_n(k) = \text{sat}[u_{n-1}(k)] + k^o e_{n-1}(k+1) + k^c(k) e_n(k) \quad (2-1)$$

其中, $u_n(k)$ 为第 $n$ 次迭代过程第 $k$ 个采样时刻的控制向量, $e_n(k)$ 为第 $n$ 次迭代过程第 $k$ 个采样时刻的误差, $k^c$ 为闭环学习控制率, $k^o$ 为开环学习控制率;

2.2 建立状态空间方程:

$$\begin{cases} x_n(k+1) = x_n(k) + B u_n(k) + d_n(k) \\ y_n(k) = C x_n(k) \end{cases} \quad (2-2)$$

其中 $x(k) = [x_1(k), \dots, x_N(k)]^T$ 为状态向量,表示路网中各路段包含的车辆数; $u(k) = [g_1(k), \dots, g_N(k)]^T$ 为控制向量,表示路网中所有相位的绿灯时间; $d(k)$ 为状态扰动向量,表示各路段的扰动; $y(k) = [o_1(k), \dots, o_N(k)]^T$ 为系统输出,反映路网中各路段的占有率;输入矩阵 $B$ 反映了路网的相位、周期、饱和流量;输出矩阵 $C$ 表示表示道路容量和车辆长度的特

征；

2.3优化各交叉口的信号配时：将交通模型中的绿灯时间 $u(k)$ 作为开闭环迭代学习的控制输入，路段的车辆数 $x(k)$ 作为控制状态变量，系统的状态输出与路段车辆数相同；选择合适的学习率 $k^c$ 和 $k^o$ ，调整交叉口的绿灯时间，控制子区内部的道路占有率，使其追踪理想的 $o_j^d$ 道路占有率；

2.4重复步骤2.3，迭代调整各路口的信号配时，直到路网的车辆数达到步骤1)中设定的理想值 $o_j^d$ ，均衡整个路网内部的车辆数。

## 一种基于MFD的路网交通信号迭代学习控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及城市路网的交通信号控制问题,具体涉及到MFD(交通宏观基本图)以及一种迭代学习控制策略。

### 背景技术

[0002] 由于道路资源和基础设施的限制,现代城市交通拥堵仍然是社会的主要问题之一。信号控制作为最主要的交通管控手段,随着交通学者不断深入的研究也得到了极大的发展。

[0003] 由于城市交通系统是一个不确定的复杂系统,规模庞大,系统模型参数难以确定,N.Geroliminis等通过对日本横滨等交通数据的分析发现城市区域内部的累积车辆数和交通流存在一种特定的关系并在此基础上提出了MFD(宏观基本图),避免了基于复杂的网络起讫点OD矩阵(Origin-Destination Matrix)进行交通流建模分析方法中的缺陷。通过路网交通数据,采用迭代学习的控制策略对交通路网进行交叉口信号控制,包括两部分内容。第一部分通过MFD对路网子区进行拟合并获得的最佳累积车辆,可以作为迭代学习信号中的理想控制目标,第二部分采用迭代学习控制的方法,通过一种交通流模型对大规模城市路网进行建模,对子路网内部信号进行迭代控制。

[0004] 迭代学习控制作为一种数据驱动的方法,仅利用受控系统的在线和离线I/O数据以及经过数据处理得到的知识来设计控制器,且在交通信号控制方面有着广泛的应用,如匝道控制,城市路网控制等。因此采用迭代学习控制结合提出的基于MFD的理想道路车辆数,将交通信号的绿信比作为迭代学习控制的输入,选取合适的学习律,调整交通信号的绿灯时间,使路网内的车辆达到理想的设定目标,使路网的整体结构达到相对均衡,使路网处于MFD特性中的最佳运行状态,提高子区的流出车辆,从而提高路网通行量。

### 发明内容

[0005] 本发明要克服城市规模大,结构复杂,难以用传统的方式进行建模等不足,提出一种基于分层控制结构的迭代学习信号控制,均衡路网内的车辆,使路网处于宏观基本图的最佳运行状态,从而提高路网的流出车辆,提高路网的通行能力。

[0006] 本发明是一种基于MFD的迭代学习城市信号控制的方法,包括如下步骤:

[0007] 1) 基于MFD获取道路理想占有率:

[0008] 1.1 获取子区MFD的交通数据:将一个规模较大的城市路网进行划分,得到若干个子区 $R_i$ ,其中 $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$ ,子区划分的算法采用Ncuts算法进行划分,将大规模的城市路网分解为多个“同质”的子区,得到各个子区的交通数据。

[0009] 1.2 子区MFD拟合:通过各子区的交通数据,不同时刻的累积车辆数和子区的输出流量的MFD特性,采用3阶多项式进行拟合,对于任意子区 $R_i$ 拟合形式如下:

$$[0010] \quad G(n_i) = a_1 \times n_i^3 + a_2 \times n_i^2 + a_3 \times n_i + a_4 \quad (1-1)$$

[0011] 其中, $n_i$ 为子区 $R_i$ 的累积车辆数, $a_1 \sim a_4$ 为拟合系数。

[0012] 采用最小二乘法确定经验公式中的拟合系数:

$$[0013] \quad \min \sum_i \delta_i^2, \quad \delta_i^2 = (G(n_i) - y_i)^2 \quad (1-2)$$

[0014] 其中,  $y_i$  为子区  $R_i$  的实际输出流量,  $G(n_i)$  为子区  $R_i$  流量的近似拟合曲线, 根据上式最小化数据偏差  $\delta_i^2$ , 从而得到 MFD 的拟合结果, 根据拟合结果求得拟合曲线的极值点  $\tilde{n}_i$ 。

[0015] 1.3 确定道路理想占有率: 根据步骤 1.2 的 MFD 拟合结果, 得到各子区的最佳累积车辆数  $\tilde{n}_i$ 。根据子区  $R_i$  的网络结构对子区内部的车辆加权处理, 得到子区  $R_i$  中各道路的理想占有率:

$$[0016] \quad o_j^d = \frac{\sum_{i=1}^k \tilde{n}_i}{\sum_{i=1}^k D_i} \quad (1-3)$$

[0017] 其中  $\tilde{n}_i$  为步骤 1.2 子区  $R_i$  的 MFD 拟合得到的最佳累计车辆数,  $D_i$  表示子区  $R_i$  内的各路段长度之和,  $o_j^d$  为道路  $j$  的理想占有率 (其中  $j \in R_i$ ), 作为步骤 2) 中系统控制设计的参考目标。

[0018] 2) 基于迭代学习控制优化交叉口信号配时:

[0019] 2.1 开闭环迭代学习控制策略: 开闭环的迭代学习控制结构可以表示为以下形式:

$$[0020] \quad u_n(k) = \text{sat}[u_{n-1}(k)] + k^o e_{n-1}(k+1) + k_n^c(k) e_n(k) \quad (2-1)$$

[0021] 其中,  $u_n(k)$  为第  $n$  次迭代过程第  $k$  个采样时刻的控制向量,  $e_n(k)$  为第  $n$  次迭代过程第  $k$  个采样时刻的误差,  $k^c$  为闭环学习控制率,  $k^o$  为开环学习控制率。

[0022] 2.2 建立状态空间方程:

$$[0023] \quad \begin{cases} x_n(k+1) = x_n(k) + B u_n(k) + d_n(k) \\ y_n(k) = C x_n(k) \end{cases} \quad (2-2)$$

[0024] 其中  $x(k) = [x_1(k), \dots, x_N(k)]^T$  为状态向量, 表示路网中各路段包含的车辆数。  $u(k) = [g_1(k), \dots, g_N(k)]^T$  为控制向量, 表示路网中所有相位的绿灯时间。  $d(k)$  为状态扰动向量, 表示各路段的扰动。  $y(k) = [o_1(k), \dots, o_N(k)]^T$  为系统输出, 反映路网中各路段的占有率。输入矩阵  $B$  反映了路网的相位、周期、饱和和流量等特征; 输出矩阵  $C$  表示表示道路容量和车辆长度的特征。

[0025] 2.3 优化各交叉口的信号配时: 将交通模型中的绿灯时间  $u(k)$  作为开闭环迭代学习的控制输入, 路段的车辆数  $x(k)$  作为控制状态变量, 系统的状态输出与路段车辆数相同。选择合适的学习率  $k^c$  和  $k^o$ , 调整交叉口的绿灯时间, 控制子区内部的道路占有率, 使其追踪理想的  $o_j^d$  道路占有率。

[0026] 2.4 重复步骤 2.3, 迭代调整各路口的信号配时, 直到路网的车辆数达到步骤 1) 中设定的理想值  $o_j^d$ , 均衡整个路网内部的车辆数。即实现了算法目标。

[0027] 本发明的有益效果: 针对交通系统是一个不确定的复杂系统, 规模庞大, 系统模型

参数难以确定的特点,本发明可以降低大规模城市路网计算量和维度,达到均衡路网的交通流分布,提高路网通行量,达到减少交通延误和旅行时间的目的,对改善整个城市的交通状况具有重要意义。

### 附图说明

[0028] 图1为本发明实施例中的城市路网结构示意图。

[0029] 图2为本发明实施例中的MFD拟合效果图,其中图2a表示子区R<sub>1</sub>的MFD拟合曲线,图2b表示子区R<sub>2</sub>的MFD拟合曲线,图2c表示子区R<sub>3</sub>的MFD拟合曲线,图2d表示子区R<sub>4</sub>的MFD拟合曲线。

### 具体实施方式

[0030] 以下通过附图和实施例对本发明作进一步的说明。

[0031] 本发明针对如图1所示的具有34个路口的一个城市路网,每个路口和路段都配有实时检测设备用于检测所需的交通参数。相邻两个交叉口都是双向车道,每条道路具有2车道,每条路段的长度已确定,且路网具有21个输入节点。

[0032] 本发明是一种基于MFD的迭代学习城市信号控制的方法,包括如下步骤:

[0033] 1) 基于MFD获取道路理想占有率:

[0034] 1.1获取子区MFD的交通数据:将图1的城市路网进行划分,采用Ncuts算法划分得到4个“同质”子区,不同颜色代表不同的子区,其中R<sub>1</sub>包含8个路口,R<sub>2</sub>包含7个路口,R<sub>3</sub>包含7个路口,R<sub>4</sub>包含12个路口。基于各个子区的交通数据得到MFD的拟合曲线,计算子区的最佳运行状态。

[0035] 1.2子区MFD拟合:通过各子区的交通数据,不同时刻的累积车辆数和子区的输出流量的MFD特性,采用3阶多项式进行拟合,对于任意子区R<sub>i</sub>拟合形式如下:

$$[0036] \quad G(n_i) = a_1 \times n_i^3 + a_2 \times n_i^2 + a_3 \times n_i + a_4 \quad (1-1)$$

[0037] 其中,n<sub>i</sub>为子区R<sub>i</sub>的累积车辆数,a<sub>1</sub>~a<sub>4</sub>为拟合系数。

[0038] 采用最小二乘法确定经验公式中的拟合系数:

$$[0039] \quad \min \sum_i \delta_i^2, \quad \delta_i^2 = (G(n_i) - y_i)^2 \quad (1-2)$$

[0040] 其中,y<sub>i</sub>为子区R<sub>i</sub>的实际输出流量,G(n<sub>i</sub>)为子区R<sub>i</sub>流量的近似拟合曲线,根据上式最小化数据偏差 $\delta_i^2$ ,从而得到MFD的拟合结果,根据拟合结果求得拟合曲线的极值点 $\tilde{n}_i$ 。

[0041] 1.3确定道路理想占有率:根据步骤1.2的MFD拟合结果,得到各子区的最佳累积车辆数 $\tilde{n}_i$ 。根据子区R<sub>i</sub>的网络结构对子区内部的车辆加权处理,得到子区R<sub>i</sub>中各道路的理想占有率:

$$[0042] \quad o_j^d = \frac{\sum_{i=1}^k \tilde{n}_i}{\sum_{i=1}^k D_i} \quad (1-3)$$

[0043] 其中 $\tilde{n}_i$ 为步骤1.2子区R<sub>i</sub>的MFD拟合得到的最佳累计车辆数,D<sub>i</sub>表示子区R<sub>i</sub>内的各

路段长度之和,  $o_j^d$  为道路  $j$  的理想占有率 (其中  $j \in R_i$ ), 作为步骤 2) 中系统控制设计的参考目标。

[0044] 2) 基于迭代学习控制优化交叉口信号配时:

[0045] 2.1 开闭环迭代学习控制策略: 开闭环的迭代学习控制结构可以表示为以下形式:

$$[0046] \quad u_n(k) = \text{sat}[u_{n-1}(k)] + k^o e_{n-1}(k+1) + k_n^c(k) e_n(k) \quad (2-1)$$

[0047] 其中,  $u_n(k)$  为第  $n$  次迭代过程第  $k$  个采样时刻的控制向量,  $e_n(k)$  为第  $n$  次迭代过程第  $k$  个采样时刻的误差,  $k^c$  为闭环学习控制率,  $k^o$  为开环学习控制率。

[0048] 2.2 建立状态空间方程:

$$[0049] \quad \begin{cases} x_n(k+1) = x_n(k) + Bu_n(k) + d_n(k) \\ y_n(k) = Cx_n(k) \end{cases} \quad (2-2)$$

[0050] 其中  $x(k) = [x_1(k), \dots, x_N(k)]^T$  为状态向量, 表示路网中各路段包含的车辆数。  $u(k) = [g_1(k), \dots, g_N(k)]^T$  为控制向量, 表示路网中所有相位的绿灯时间。  $d(k)$  为状态扰动向量, 表示各路段的扰动。  $y(k) = [o_1(k), \dots, o_N(k)]^T$  为系统输出, 反映路网中各路段的占有率。输入矩阵  $B$  反映了路网的相位、周期、饱和和流量等特征; 输出矩阵  $C$  表示表示道路容量和车辆长度的特征。

[0051] 2.3 优化各交叉口的信号配时: 将交通模型中的绿灯时间  $u(k)$  作为开闭环迭代学习的控制输入, 路段的车辆数  $x(k)$  作为控制状态变量, 系统的状态输出与路段车辆数相同。选择合适的学习率  $k^c$  和  $k^o$ , 调整交叉口的绿灯时间, 控制子区内部的道路占有率, 使其追踪理想的  $o_j^d$  道路占有率。

[0052] 2.4 重复步骤 2.3, 迭代调整各路口的信号配时, 直到路网的车辆数达到步骤 1) 中设定的理想值  $o_j^d$ , 均衡整个路网内部的车辆数。即实现了算法目标。

[0053] 本文所描述的具体实施实例仅仅针对本发明做具体的举例说明, 并不能以此限定本发明的权利范围。



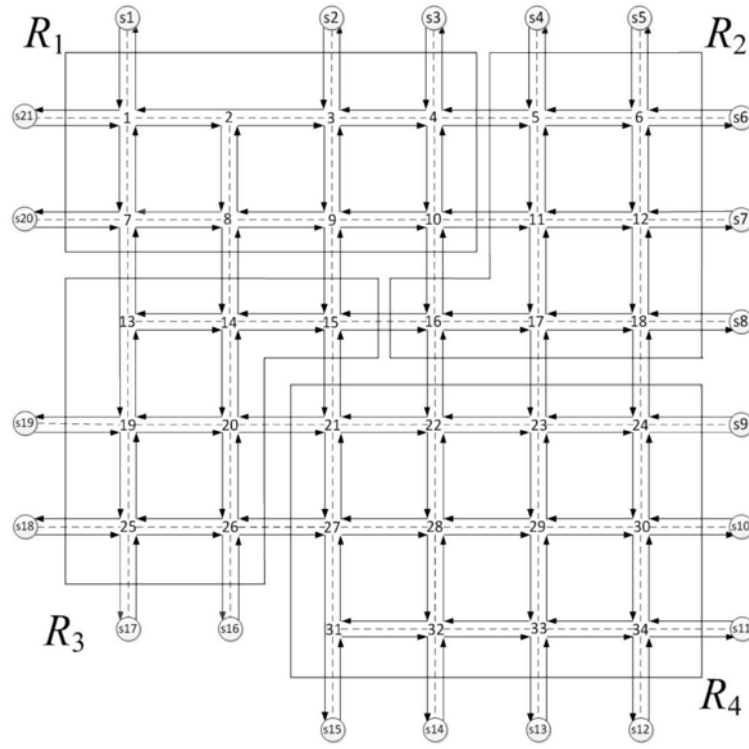


图1

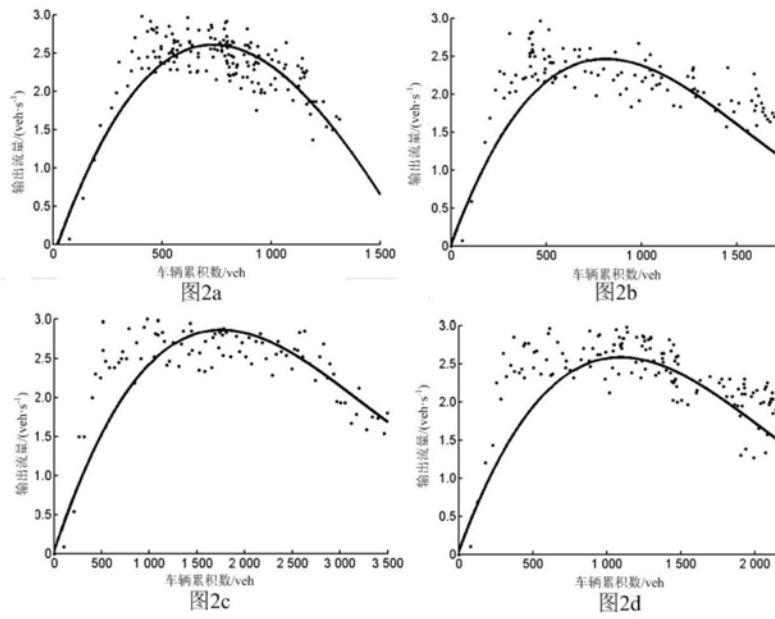


图2