



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102842224 A

(43) 申请公布日 2012. 12. 26

(21) 申请号 201210315759. X

(22) 申请日 2012. 08. 30

(71) 申请人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路 127 号

(72) 发明人 史忠科 刘通

(74) 专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 王鲜凯

(51) Int. Cl.

G08G 1/00 (2006. 01)

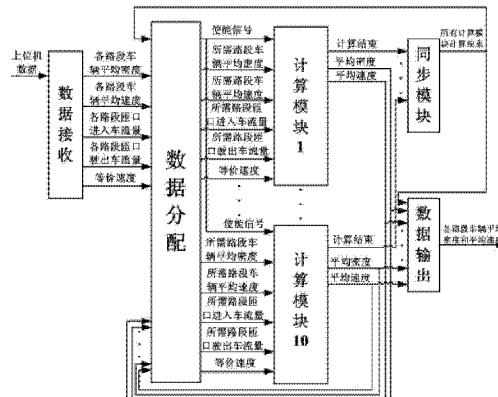
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 2 页

(54) 发明名称

基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法, 用于解决现有的 FPGA 预测控制方法实时性差的技术问题。技术方案是通过对模型近似离散化处理, 建立并行处理流程, 设计动态数据存储方案, 用 FPGA 实现了基于 LWR 宏观交通流模型的封闭道路匝口和可变信息牌的预测控制。使得高速公路的交通流密度、行车速度实现了实时有效控制。



1. 一种基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法, 其特征在于包括以下步骤:

步骤一、根据 LWR 模型:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = \pi[r(x, t), s(x, t)] \\ v(x, t) = V_e(\rho(x, t)) \end{cases}$$

式中, ρ 为车辆的平均密度、 v 为平均速度、 t 为时间, x 为与仿真道路起始点的距离, $\pi[r(x, t), s(x, t)]$ 为由于匝口进入或驶出的车流量引起的密度变化率函数, $r(x, t)$ 为由匝口进入的车流量, $s(x, t) = s_0(x, t) + s_q(x, t)$ 为由匝口驶出的车流量, $s_0(x, t)$ 为由匝口驶出的正常车流量、 $s_q(x, t)$ 为信息显示牌强制驶出车辆造成的流量增量, $V_e(\rho)$ 为等价速度;

用差分格式表示微分项并略去高阶项, 得到:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} &= \frac{\rho(x, t + \xi) - \rho(x, t)}{\xi} + o(\xi) = \frac{\rho_{i+1}^n - \rho_i^n}{\xi} \\ \frac{\partial \rho}{\partial x} &= \frac{\rho(x + h, t) - \rho(x, t)}{h} + o(h) = \frac{\rho_{i+1}^n - \rho_i^n}{h} \\ \frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{v(x + h, t) - v(x, t)}{h} + o(h) = \frac{v_{i+1}^n - v_i^n}{h} \end{aligned}$$

式中: ξ 为 t 的微分, h 为 x 的微分, $o(\xi)$ 为 ξ 的高阶无穷小, $o(h)$ 为 h 的高阶无穷小, $\rho(x, t)$ 为 t 时刻 x 处车辆的平均密度, $v(x, t)$ 为 t 时刻 x 处车辆的平均速度, 把道路分成多个路段, 每个路段长度为 h , 采样周期为 ξ , ρ_i^n 为第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内车辆的平均密度, v_i^n 为第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内车辆的平均速度;

得到 LWR 模型的差分形式为:

$$\begin{cases} \rho_i^{n+1} = \xi \pi[r(i, n), s(i, n)] - \frac{\xi}{h} [v_i^n (\rho_{i+1}^n - \rho_i^n) + \rho_i^n (v_{i+1}^n - v_i^n)] + \rho_i^n \\ v_i^{n+1} = V_e(\rho_i^n) \end{cases}$$

式中, $r(i, n)$ 表示第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内由匝口进入的车流量, $s(i, n)$ 表示第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内由匝口驶出的车流量;

步骤二、建立等价速度模型为:

$$V_e(\rho) = \begin{cases} \frac{v_0(1 - \rho / \hat{\rho})}{1 + E(\rho / \hat{\rho})^4} & \text{信息显示牌未指定速度} \\ v_{ea} & \text{信息显示牌后一路段指定速度} \end{cases},$$

式中, $v_0, E, \hat{\rho}$ 均为常数, v_{ea} 为可变信息显示牌指定速度;

$$\text{第 } i \text{ 路段: } V_e(\rho_i^n) = \begin{cases} \frac{v_0(1 - \rho_i^n / \hat{\rho})}{1 + E(\rho_i^n / \hat{\rho})^4} & \text{信息显示牌未指定速度} \\ v_{ea}(i) & \text{信息显示牌后一路段指定速度} \end{cases};$$

式中, $v_0, E, \hat{\rho}$ 均为常数, $v_{ea}(i)$ 为第 i 个路段可变信息显示牌指定速度;

步骤三、结合 LWR 模型的差分形式和等价速度模型，在 FPGA 中设计包含车辆平均密度 ρ 和平均速度 v 的计算模块，根据实际道路的长度和匝口信息把高速公路分成多个路段，每个路段对应一个计算模块，根据初始信息和调控信息，在 FPGA 中同时并行运行这些计算模块，预测出各个路段下一时间段的车辆平均密度和平均速度，然后把车辆平均密度和平均速度存入寄存器，在所有计算模块完成计算后，输出车辆平均密度和平均速度，同时把这些数据回传给计算模块进行下一步的计算；

步骤四、以匝口进入封闭道路流量作为模型输入，可变信息牌作为强制速度和匝口强制输出调节量，对于给定控制输入预测每个路段的平均交通流密度和车辆平均速度，如果每个路段都满足最低速度、最大密度要求，则选择该方案以控制封闭道路匝口及可变信息牌，否则调整控制方案。

2. 根据权利要求 1 所述的基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法，其特征在于：所述计算模块采用浮点数运算，自定义浮点数结构如下表所示：

1 符号 S	6 阶码 e	17 尾数 M
--------	--------	---------

共 24 位，其中符号 1 位，阶码 6 位，尾数 17 位，代表的数据大小为 $F=(-1)^s \times 1.M \times 2^{e-31}$ 。

基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种 FPGA 预测控制方法,特别涉及一种基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法。

背景技术

[0002] 随着经济的快速发展,汽车保有量的不断增加,交通拥挤已成为世界各国共同关注的焦点和急需解决的重要问题,交通拥挤同时也造成了严重的环境污染,在 9 种主要的空气污染物质中,6 种直接或间接地与汽车尾气排放有关,堵车状态下汽车排出的有害物质浓度比正常行驶时高出 5 ~ 6 倍;此外,交通拥挤与交通事故是城市交通共生的两大问题。一方面,城市交通高峰时期密集的交通流,使得交通事故频发,极易引发严重的交通拥挤;另一方面,当堵车发生时,车辆驾驶员因为过度等待,容易失去耐心,使得交通事故发生的几率大大增加;可见交通拥挤已经成为影响全球城市可持续发展的一个全局性问题。

[0003] 为了有效疏导交通、提高高速公路的使用效率,常常使用信息显示牌作为交通信息发布和控制的手段;通常,信息显示牌及可变限速标志作为智能交通系统的重要信息发布,由监控中心计算机通过通讯网络实行远程控制、传送并显示各种图文信息、向司机及时发布不同路段的不同路面情况及各类交通信息、进行交通法规,交通知识的宣传、达到减少高速公路重现性阻塞、减少高速公路非重现性事故的影响,提高行车安全;如文献“海依拉提·巴拉提,高速公路信息显示牌设置技术探讨,大陆桥视野,2010 年 10 月,139~140”所述,信息显示牌系统的设置机理为:(1) 检测器信息收集和处理系统、(2) 信息显示牌信息提供、(3) 通信系统、(4) 中央控制系统;信息显示牌的设置应从整个交通导行系统建设的角度出发,充分考虑导行与控制的关联,结合考虑地面道路与高架道路的综合效益,制定整体性、合理性、高效性的导行方案;信息显示牌依据设置的地点和目的的不同而采用不同的形式;一种是安装在主线上,进行主线诱导和出口诱导,以字符形式显示前方路段的交通状况如畅通、拥挤、延误等,从而使驾驶员可以转向地面道路,避开拥挤区;另一种安装在匝道入口附近,把匝道入口处的排队长度及拥挤预测情况报告给驾驶员,也可把邻近主线上的交通情况显示给匝道入口上的驾驶员,从而为他们提供合理地诱导;然而,这些方案,将高速公路入口诱导、道路主线诱导、道路出口诱导仅仅按照信息需求划分开,没有有机结合,特别是信息显示牌的显示信息没有按照宏观交通模型预测输出自动设定,难以对高速公路的交通流密度、行车速度进行有效控制。

[0004] 为了深入分析交通系统,国内外大量学者研究交通流模型,其中采用流体力学的观点建立的宏观和微观模型分析交通特性者居多;在宏观交通流模型中,交通流被视为由大量车辆组成的可压缩连续流体介质,研究车辆集体的平均行为、单个车辆的个体特性并不凸显;宏观交通流模型以车辆的平均密度 ρ 、平均速度 v 和流量 q 刻画交通流,研究它们所满足的方程;宏观模型可以更好地刻画交通流的集体行为,从而为设计有效的交通控制策略、模拟及估计道路几何改造的效果等交通工程问题提供依据;在数值计算方面,模拟宏观交通流所需时间与所研究交通系统中车辆数目无关,只与所研究道路、数值方法的选取

及其中空间 x、时间 t 的离散步长 Δx 和 Δt 有关。故此,宏观交通流模型较适合于处理大量车辆组成的交通系统的交通流问题;这类模型被国际上大多数学者用来讨论封闭道路的交通现象。

[0005] 然而,宏观交通流模型大多数采用偏微分方程描述,即使离散形式的宏观交通流模型也很复杂,这些模型的处理通常在台式机以上的系统处理,很难使用宏观模型对封闭道路匝口和可变信息牌进行在线预测控制。

发明内容

[0006] 为了克服现有 FPGA 预测控制方法实时性差的不足,本发明提供一种基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法。该方法通过对模型近似离散化处理,建立了并行处理流程,设计了动态数据存储方案,用 FPGA 实现了基于 LWR 宏观交通流模型的封闭道路匝口和可变信息牌的预测控制。可以使得高速公路的交通流密度、行车速度实现实时有效控制。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案:一种基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法,其特点是包括以下步骤:

[0008] 步骤一、根据 LWR 模型:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = \pi[r(x, t), s(x, t)] \\ v(x, t) = V_e(\rho(x, t)) \end{cases}$$

[0010] 式中, ρ 为车辆的平均密度、 v 为平均速度、 t 为时间, x 为与仿真道路起始点的距离, $\pi [r(x, t), s(x, t)]$ 为由于匝口进入或驶出的车流量引起的密度变化率函数, $r(x, t)$ 为由匝口进入的车流量, $s(x, t) = S_0(x, t) + S_q(x, t)$ 为由匝口驶出的车流量, $S_0(x, t)$ 为由匝口驶出的正常车流量、 $S_q(x, t)$ 为信息显示牌强制驶出车辆造成的流量增量, $V_e(\rho)$ 为等价速度;

[0011] 用差分格式表示微分项并略去高阶项,得到:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\rho(x, t + \xi) - \rho(x, t)}{\xi} + o(\xi) = \frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^n}{\xi}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\rho(x + h, t) - \rho(x, t)}{h} + o(h) = \frac{\rho_{i+1}^n - \rho_i^n}{h}$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{v(x + h, t) - v(x, t)}{h} + o(h) = \frac{v_{i+1}^n - v_i^n}{h}$$

[0015] 式中: ξ 为 t 的微分, h 为 x 的微分, $o(\xi)$ 为 ξ 的高阶无穷小, $o(h)$ 为 h 的高阶无穷小, $\rho(x, t)$ 为 t 时刻 x 处车辆的平均密度, $v(x, t)$ 为 t 时刻 x 处车辆的平均速度, 把道路分成多个路段, 每个路段长度为 h , 采样周期为 ξ , ρ_i^n 为第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内车辆的平均密度, v_i^n 为第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内车辆的平均速度;

[0016] 得到 LWR 模型的差分形式为:

[0017]
$$\begin{cases} \rho_i^{n+1} = \xi \pi[r(i, n), s(i, n)] - \frac{\xi}{h} [v_i^n (\rho_{i+1}^n - \rho_i^n) + \rho_i^n (v_{i+1}^n - v_i^n)] + \rho_i^n \\ v_i^{n+1} = V_e(\rho_i^n) \end{cases}$$

[0018] 式中, $r(i, n)$ 表示第 i 个路段在 $[n \xi, (n+1) \xi]$ 内由匝口进入的车流量, $s(i, n)$ 表示第 i 个路段在 $[n \xi, (n+1) \xi]$ 内由匝口驶出的车流量;

[0019] 步骤二、建立等价速度模型为:

[0020]

$$V_e(\rho) = \begin{cases} \frac{v_0(1-\rho/\hat{\rho})}{1+E(\rho/\hat{\rho})^4} & \text{信息显示牌未指定速度} \\ v_{ea} & \text{信息显示牌后一路段指定速度} \end{cases},$$

[0021] 式中, $v_0, E, \hat{\rho}$ 均为常数, V_{ea} 为可变信息显示牌指定速度;

[0022] 第 i 路段: $V_e(\rho_i^n) = \begin{cases} \frac{v_0(1-\rho_i^n/\hat{\rho})}{1+E(\rho_i^n/\hat{\rho})^4} & \text{信息显示牌未指定速度} \\ v_{ea}(i) & \text{信息显示牌后一路段指定速度} \end{cases};$

[0023] 式中, $v_0, E, \hat{\rho}$ 均为常数, $V_{ea}(i)$ 为第 i 个路段可变信息显示牌指定速度;

[0024] 步骤三、结合 LWR 模型的差分形式和等价速度模型, 在 FPGA 中设计包含车辆平均密度 ρ 和平均速度 v 的计算模块, 根据实际道路的长度和匝口信息把高速公路分成多个路段, 每个路段对应一个计算模块, 根据初始信息和调控信息, 在 FPGA 中同时并行运行这些计算模块, 预测出各个路段下一时间段的车辆平均密度和平均速度, 然后把车辆平均密度和平均速度存入寄存器, 在所有计算模块完成计算后, 输出车辆平均密度和平均速度, 同时把这些数据回传给计算模块进行下一步的计算;

[0025] 步骤四、以匝口进入封闭道路流量作为模型输入, 可变信息牌作为强制速度和匝口强制输出调节量, 对于给定控制输入预测每个路段的平均交通流密度和车辆平均速度, 如果每个路段都满足最低速度、最大密度要求, 则选择该方案以控制封闭道路匝口及可变信息牌, 否则调整控制方案。

[0026] 所述计算模块采用浮点数运算, 自定义浮点数结构如下表所示:

[0027]

1 符号 S	6 阶码 e	17 尾数 M
--------	--------	---------

[0028] 共 24 位, 其中符号 1 位, 阶码 6 位, 尾数 17 位, 代表的数据大小为 $F=(-1)^s \times 1.M \times 2^{-31}$ 。

[0029] 本发明的有益效果是: 由于通过对模型近似离散化处理, 建立了并行处理流程, 设计了动态数据存储方案, 用 FPGA 实现了基于 LWR 宏观交通流模型的封闭道路匝口和可变信息牌的预测控制。使得高速公路的交通流密度、行车速度实现了实时有效控制。

[0030] 下面结合附图和实施例对本发明作详细说明。

附图说明

[0031] 图 1 是本发明基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法的计算结构图。

[0032] 图 2 是本发明基于 LWR 宏观交通流模型的 FPGA 在线预测控制方法的 FPGA 实现框图。

具体实施方式

[0033] 参照图 1、2 详细说明本发明。

[0034] 1、根据 LWR 模型：

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = \pi[r(x, t), s(x, t)] \\ v(x, t) = V_e(\rho(x, t)) \end{cases}$$

[0036] 式中： ρ 为车辆的平均密度、 v 为平均速度、 t 为时间， x 为与仿真道路起始点的距离， $\pi[r(x, t), s(x, t)]$ 为由于匝口进入或驶出的车流量引起的密度变化率函数， $r(x, t)$ 为由匝口进入的车流量， $s(x, t) = s_0(x, t) + s_q(x, t)$ 为由匝口驶出的车流量， $s_0(x, t)$ 为由匝口驶出的正常车流量、 $s_q(x, t)$ 为信息显示牌强制驶出车辆造成的流量增量， $V_e(\rho)$ 为等价速度，全申请书符号定义相同；

[0037] 用差分格式表示微分项并略去高阶项，得到：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\rho(x, t + \xi) - \rho(x, t)}{\xi} + o(\xi) = \frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^n}{\xi}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\rho(x + h, t) - \rho(x, t)}{h} + o(h) = \frac{\rho_{i+1}^n - \rho_i^n}{h}$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{v(x + h, t) - v(x, t)}{h} + o(h) = \frac{v_{i+1}^n - v_i^n}{h}$$

[0041] 式中： ξ 为 t 的微分， h 为 x 的微分， $o(\xi)$ 为 ξ 的高阶无穷小， $o(h)$ 为 h 的高阶无穷小， $\rho(x, t)$ 为 t 时刻 x 处车辆的平均密度， $v(x, t)$ 为 t 时刻 x 处车辆的平均速度，把道路分成多个路段，每个路段长度为 h ，采样周期为 ξ ， ρ_i^n 为第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内车辆的平均密度， v_i^n 为第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内车辆的平均速度；

[0042] 得到 LWR 模型的差分形式为：

$$\begin{cases} \rho_i^{n+1} = \xi \pi[r(i, n), s(i, n)] - \frac{\xi}{h} [v_i^n (\rho_{i+1}^n - \rho_i^n) + \rho_i^n (v_{i+1}^n - v_i^n)] + \rho_i^n \\ v_i^{n+1} = V_e(\rho_i^n) \end{cases}$$

[0044] 式中： $r(i, n)$ 表示第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内由匝口进入的车流量， $s(i, n)$ 表示第 i 个路段在 $[n\xi, (n+1)\xi]$ 内由匝口驶出的车流量；

[0045] 2、建立等价速度模型为：

$$\text{第 } i \text{ 路段 } V_e(\rho_i^n) = \begin{cases} \frac{v_0(1 - \rho_i^n / \hat{\rho})}{1 + E(\rho_i^n / \hat{\rho})^4} & \text{信息显示牌未指定速度} \\ v_{ea}(i) & \text{信息显示牌后一路段指定速度} \end{cases};$$

[0047] 式中， $v_0, E, \hat{\rho}$ 均为常数， $V_{ea}(i)$ 为第 i 个路段可变信息显示牌指定速度；

[0048] 3、在本实施例中，FPGA 芯片选用 Altera 公司的 EP3C120F484C6 芯片，与上位机通信采用 RS-232 协议，电平转换芯片选用 MAX3232 芯片；然后在 FPGA 中按附图 1 所示计算结

构对各个路段进行仿真计算。本实施例中把道路分成 10 个路段,附图 2 中计算模块 1- 计算模块 10 为按照前述偏微分方程组的差分解法使用浮点数运算器组合而成的路段仿真计算模块,具体的数据流向为 :数据接收模块接收上位机传来的各个路段的交通流密度、平均速度的初始数据以及调控数据(包括各路段匝口进入车流量、驶出车流量和等价速度),然后传给数据分配模块,数据分配模块将使能信号和这些初始数据传给各个计算模块,各个计算模块接收到使能信号后同时对车辆平均密度和平均速度进行仿真计算并把结果存入寄存器,各个模块计算结束后把各自的计算结束信号传给同步模块,同步模块在所有计算模块完成计算后发送信号通知数据分配模块和数据输出模块接收车辆平均密度和平均速度的仿真结果,数据分配模块再把各路段的仿真结果和调控信息分配给计算模块进行下一步计算,同时数据输出模块输出仿真结果 ;

[0049] 4、所述浮点数运算器采用自定义浮点数格式,浮点数结构如下表所示 :

[0050]

1 符号 S	6 阶码 e	17 尾数 M
--------	--------	---------

[0051] 共 24 位,其中符号 1 位,阶码 6 位,尾数 17 位,代表的数据大小为 $F=(-1)^s \times 1. M \times 2^{e-31}$;

[0052] 所述数据接收模块接收上位机传来的 8 位的数据,并把连续三个 8 位的数据转化为 24 位数据传给数据分配模块 ;

[0053] 所述数据输出模块接收计算模块传来的 24 位计算结果,把它们拆分成 8 位的数据进行输出,在输出计算结果之前先输出有效数据开始识别码 0xFF,0xF1,0xF1,计算结果输出完毕之后输出有效数据结束识别码 0xFF,0XF2,0XF2 ;

[0054] 5、以匝口进入封闭道路流量作为模型输入,可变信息牌作为强制速度和匝口强制输出调节量,对于给定控制输入预测各个路段的交通密度和车辆平均速度,如果每个路段都满足最低速度、最大密度要求,则选择该方案以控制封闭道路匝口及可变信息牌,否则调整控制方案。

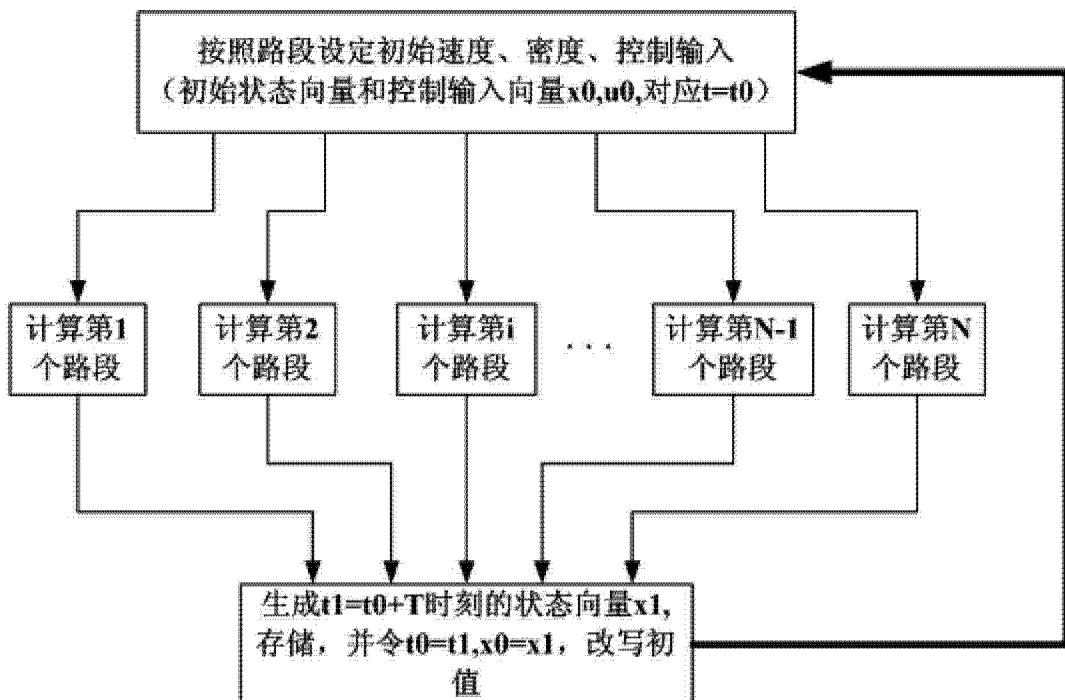


图 1

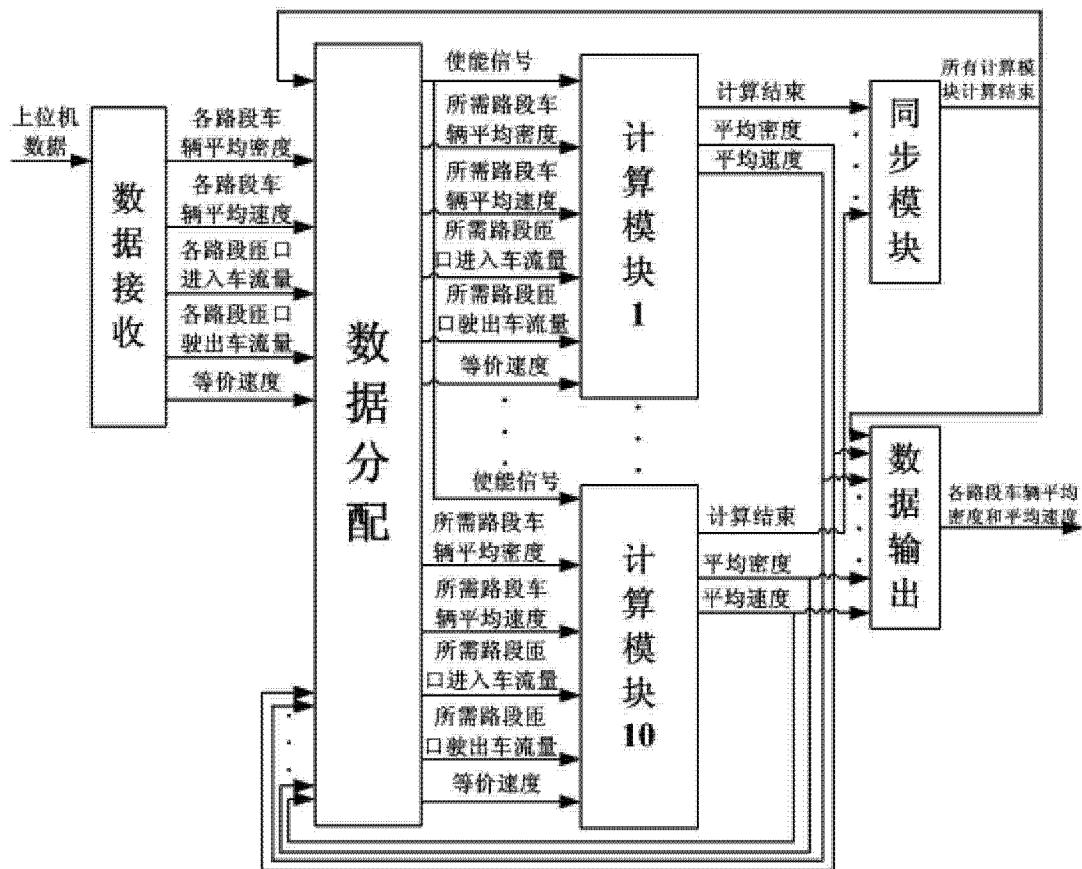


图 2