(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102938202 A
(43)申请公布日 2013.02.20

(21)申请号 201210434830.6

(22)申请日 2012.11.03

(71)申请人 西安费斯达自动化工程有限公司
地址 710075 陕西省西安市高新区科技路金桥国际广场 12101 号

(72)发明人 史忠科

(51)Int.Cl.
G08G 1/00(2006.01)

权利要求书 1 页 说明书 4 页

(54) 发明名称

密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法

(57) 摘要

本发明提供一种密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法，该方法在多车道情况下将交通流速度模型中前方车辆影响按照正常排队、交通信号灯终止行驶车辆、跟车距离太大造成其它车辆插入、相邻车道跟车距离太大导致当前车道车辆插入四种实际交通情况的随机变化，同时引入了前方多辆车的优化速度关于车距的变化率、前方车辆作用的滞后时间及加权因子，考虑了车辆行驶车道以及对相邻车道的影响，该建模方法可以根据实际交通情况调整考虑前方多辆车的个数、前方车辆作用的滞后时间及加权因子等参数，使得建立的新微观交通流模型更接近于实际，解决了设计新道路、对现有道路运行管理和交叉路口信号灯控制中交通流建模技术问题。

CN 102938202 A

1. 一种密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法，其特点是包括以下步骤：

1）密度饱和状态下的电子空穴微观交通流模型为：

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2} = a\{V[\Delta x_n(t)] - \dfrac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}\} + \lambda_a \dfrac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t} + f \\ f = \begin{cases} \sum_{k=1}^{N} \{\gamma_{ak}\{V[\Delta x_{n+k}(t-\Delta t_{k-1})] - V[\Delta x_{n+k-1}(t-\Delta t_{k-1})]\}\} & s=0 \\ -A & s=1 \\ \gamma_a \operatorname{sgn}[x_{n+1}(t) - x_n(t) - d_a]\{V[\Delta x_i(t)] - V[\Delta x_n(t)]\} & s=2 \\ \gamma_{b0}\operatorname{sgn}(d_b)\{V[\Delta x_n(t)] - V[\Delta x_{n-1}(t)]\} + \gamma_{b1}[1-\operatorname{sgn}(d_b)]\{V[\Delta x_{n+1}(t)] - V[\Delta x_{n-1}(t)]\} & s=3 \end{cases} \end{cases}$$

式中，$x_n(t)$ 是时刻 t 第 n 辆车所在位置，$\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}$ 是时刻 t 第 n 辆车的速度，$\Delta x_n(t)$ 是连续的两辆车之间的车头间距，$V[\Delta x_n(t)]$ 是第 n 辆车优化速度函数，a 是驾驶员的敏感系数，λ_a 是相对速度差的反应参数，$\gamma_{ak} \geqslant 0$ 是对第 n+k-1 辆车优化速度差的反应参数，Δt_{k-1} 为第 n 辆车前方第 n+k-1 辆车对第 n 辆车的优化速度差反应参数所取的延迟时间，正常排队时 s ＝ 0，前方的第 n+1 辆车通过斑马线而第 n 辆车被交通信号灯禁止通过时 s ＝ 1，第 n 辆车跟随前方的第 n+1 辆车行驶时有空隙而被其它车道车辆插入、第 n 辆车不得不调整速度时 s ＝ 2，第 n 辆车驶向其它车道插队时 s ＝ 3，sgn 为符号函数，$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x>0 \\ 0 & x\le 0 \end{cases}$，$d_a$ 为车辆可以插入的最小跟车空隙，γ_a 为第 n 辆车对插入车辆的反应系数，$V[\Delta x_i(t)]$ 为插入车辆的前向优化速度函数，当第 n 辆车驶向其它车道但尾部仍在当前车道导致后方的第 n-1 车不能越过时 d_b=1，当第 n 辆车已经完全驶向其它车道、当前车道后方的第 n-1 车能够越过时 d_b=-1，γ_{b0} 为第 n-1 辆车对第 n 辆车驶向其它车道但尾部仍在当前车道的反应系数，γ_{b1} 为第 n-1 辆车对第 n 辆车已经完全驶向其它车道、可以加速追赶跟随前方第 n+1 辆车的反应系数，A>0 为刹车加速度，全文符号含义相同；

2）模型中的参数关系为：$\Delta t_k - \Delta t_{k-1} > 0$，$\gamma_{ak} > \gamma_{a(k+1)}$ (k=1, 2, …, N)；

3）将 $\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2}$ 近似表达为：

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t} \approx \dfrac{x_n(t+T) - x_n(t-T)}{2T} \\ \dfrac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t} \approx \dfrac{\Delta x_n(t+T) - \Delta x_n(t-T)}{2T} \\ \dfrac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2} \approx \dfrac{8[x_n(t+T) - x_n(t-T)] - x_n(t+2T) + x_n(t-2T)}{12T} \end{cases}$$

式中，T 为采样周期；

得到密度饱和状态下的电子空穴微观离散交通流模型为：

$x_n(t+2T) = (8+6a)[x_n(t+T) - x_n(t-T)] - 12aTV[\Delta x_n(t)] - 6\lambda_a[\Delta x_n(t+T) - \Delta x_n(t-T)] - 12Tf + x_n(t-2T)$。

密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种交通流模型建模方法，特别是涉及一种密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法。

背景技术

[0002] 为了更合理地设计新道路、对现有道路运行管理和交叉路口信号灯控制方案进行仿真验证，常常需要建立交通流模型，以便在同等交通设施更大在发挥交通运输能力。

[0003] 交通运输是关系国计民生的重大问题，交通运输系统的现代化程度和交通管理的先进程度，是衡量一个国家现代化程度的重要标志 ；近年来，随着经济发展，各种交通工具的数量大大增加，国际上很多国家的设施、道路、交通管理系统已经很难满足这种发展速度，特别是大中城市交通基础设施不足、交通控制信号的不协调、交通疏导系统缺失、车辆调度和管理的混乱、交通参与者的交规意识等诸多方面的原因导致了城市交通较拥堵现象，由此又引发了交通安全、环境污染等一系列的社会经济问题。

[0004] 交通问题是一个复杂的大系统问题，它涉及到了城市交通网络的综合控制、交通信息的综合采集及网络传输技术、交通智能信息融合和处理技术、交通流诱导技术、车辆运输智能调度方法、城市智能交通规划方法、交通安全检测、交通环境综合评价体系等多方面的内容，而且上述各个因素之间相互影响、相互制约，是一个相关性极强的综合体，很难用统一的描绘形式刻画这一复杂问题 ；道路上行驶车辆的多样性、不一致性等问题，使得人们无法参考物理定律等建立准确的交通模型，只能对不同的交通环境或应用问题采用不同的逼近模型 ；目前对交通流模型主要采用宏观和微观两大类描述，宏观交通流模型是采用流体力学的观点建立交通流特性模型，交通流被视为由大量车辆组成的可压缩连续流体介质 ；微观交通流模型中交通流被视为由大量车辆组成的复杂自驱动粒子系统，从单个车辆的动力学行为出发，研究车辆间的相互作用，进而得到整个交通流系统的性质，车辆集体的平均行为并不凸显。

[0005] 跟驰模型是一类典型的微观交通流模型 ；假设车队在单车道行驶时，不容许超车的情况下，后车跟随前方的车辆行驶，因此称为跟驰模型 ；跟驰模型的显著特点是易于得到其解析形式的解。跟驰模型以车辆的速度 v，相对速度 Δv 和车头间距 Δx 刻画交通流，研究它们所满足的方程 ；跟驰模型可以比较方便地得出稳定性条件及相变等理论特性，对发展车辆自主巡航系统具有重要作用 ；数值计算方面，模拟跟驰模型所需时间与所研究交通系统中车辆数目有关，与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 ；国内代表性工作为 ：1、王晓原，隽志才，贾洪飞，孟昭为，基于安全间距的车辆跟驰模型研究综述，长安大学学报（ 自然科学版 ），2004，Vol.24(6) ：pp51-54 ；2、郑茂才 ，考虑前车减速状况的跟随车安全距离分析，湖南交通科技，2011，Vol.37(2)：pp190-193 ；3、韩祥临，李兴莉，姜长元，考虑前后车辆综合信息的耦合映射跟驰模型，交通运输系统工程与信息，2009，Vol.9(2) ：pp62-68 ；4、熊烈强 ，王富 ，李杰 ，考虑前后车速度关系的车辆跟驰模型，华中科技大学学报（ 自然科学版），2005，Vol.33(9 ：pp87-90 ；5、彭光含，向前看多车跟驰模型稳

定性分析,系统工程理论与实践,2011,Vol.31(3):pp569-576;国外对交通流模型研究结果也较多,如文献“Optimal velocity difference model for a car-following theory[J]. Physics Letters A.2011,375:3973–3977”公开了一种 Optimal velocity difference model 微观交通流跟驰模型:

[0006] $$\frac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2}=a\{V[\Delta x_n(t)]-\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}\}+\lambda a\frac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t}+\gamma a\{V[\Delta x_{n+1}(t)]-V[\Delta x_n(t)]\}$$

[0007] 该模型是彭光含等人基于全速度差模型的基础,考虑相对优化速度差构成的新微观交通流跟驰模型;式中,$x_n(t)$ 是时刻 t 第 n 辆车所在位置,$\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}$是时刻 t 第 n 辆车的速度,$\Delta x_n(t)$ 是连续的两辆车之间的车头间距,$V[\Delta x_n(t)]$ 是第 n 辆车优化速度函数,a 是驾驶员的敏感系数,λα 是相对速度差的反应参数,γa 是优化速度差的反应参数;上述研究工作已经在跟驰模型中考虑了前后车的影响,但由于研究工作没有充分考虑实际路况满足跟驰模型的假设条件,导致得到的路段、交叉路口交通流模型与实际交通情况不一致而无法在交通流统计以及在交叉路口信号灯控制等技术中应用。

发明内容

[0008] 为了克服现有跟驰模型与实际交通情况不一致而无法在交通流统计以及在交叉路口信号灯控制的技术问题,本发明提供一种密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法,该方法在多车道情况下将交通流速度模型中前方车辆影响按照正常排队、交通信号灯终止行驶车辆、跟车距离太大造成其它车辆插入、相邻车道跟车距离太大导致当前车道车辆插入四种实际交通情况的随机变化,同时引入了前方多辆车的优化速度关于车距的变化率、前方车辆作用的滞后时间及加权因子,考虑了车辆行驶车道以及对相邻车道的影响,该建模方法可以根据实际交通情况调整考虑前方多辆车的个数、前方车辆作用的滞后时间及加权因子等参数,使得建立的新微观交通流模型更接近于实际,解决了设计新道路、对现有道路运行管理和交叉路口信号灯控制中交通流建模技术问题。

[0009] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:一种密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法,其特点是包括以下步骤:

[0010] 1、密度饱和状态下的电子空穴微观交通流模型为:

[0011]

$$\begin{cases}\dfrac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2}=a\{V[\Delta x_n(t)]-\dfrac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}\}+\lambda_a\dfrac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t}+f\\ f=\begin{cases}\sum\limits_{k=1}^{N}\{\gamma_{ak}\{V[\Delta x_{n+k}(t-\Delta t_{k-1})]-V[\Delta x_{n+k-1}(t-\Delta t_{k-1})]\}\} & s=0\\ -A & s=1\\ \gamma_a\,\mathrm{sgn}[x_{n+1}(t)-x_n(t)-d_a]\{V[\Delta x_i(t)]-V[\Delta x_n(t)]\} & s=2\\ \gamma_{b0}\,\mathrm{sgn}(d_b)\{V[\Delta x_n(t)]-V[\Delta x_{n-1}(t)]\}+\gamma_{b1}[1-\mathrm{sgn}(d_b)]\{V[\Delta x_{n+1}(t)]-V[\Delta x_{n-1}(t)]\} & s=3\end{cases}\end{cases}$$

[0012] 式中,$x_n(t)$ 是时刻 t 第 n 辆车所在位置,$\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}$是时刻 t 第 n 辆车的速度,$\Delta x_n(t)$ 是连续的两辆车之间的车头间距,$V[\Delta x_n(t)]$ 是第 n 辆车优化速度函数,a 是驾驶员的

敏感系数，λ_a 是相对速度差的反应参数，$\gamma_{ak} \geqslant 0$ 是对第 n+k-1 辆车优化速度差的反应参数，Δt_{k-1} 为第 n 辆车前方第 n+k-1 辆车对第 n 辆车的优化速度差反应参数所取的延迟时间，正常排队时 s ＝ 0，前方的第 n+1 辆车通过斑马线而第 n 辆车被交通信号灯禁止通过时 s ＝ 1，第 n 辆车跟随前方的第 n+1 辆车行驶时有空隙而被其它车道车辆插入、第 n 辆车不得不调整速度时 s ＝ 2，第 n 辆车驶向其它车道插队时 s ＝ 3，sgn 为符号函数，$\mathrm{sgn}(x)=\begin{cases}1 & x>0\\ 0 & x\le 0\end{cases}$，$d_a$ 为车辆可以插入的最小跟车空隙，γ_a 为第 n 辆车对插入车辆的反应系数，$V[\Delta x_i(t)]$ 为插入车辆的前向优化速度函数，当第 n 辆车驶向其它车道但尾部仍在当前车道导致后方的第 n-1 车不能越过时 $d_b=1$，当第 n 辆车已经完全驶向其它车道、当前车道后方的第 n-1 车能够越过时 $d_b=-1$，γ_{b0} 为第 n-1 辆车对第 n 辆车驶向其它车道但尾部仍在当前车道的反应系数，γ_{b1} 为第 n-1 辆车对第 n 辆车已经完全驶向其它车道、可以加速追赶跟随前方第 n+1 辆车的反应系数，A>0 为刹车加速度，全文符号含义相同；

[0013]　2、模型中的参数关系为：$\Delta t_k - \Delta t_{k-1} > 0$，$\gamma_{ak} > \gamma_{a(k+1)}$ $(k=1,2,\cdots,N)$；

[0014]　3、将 $\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2}$ 近似表达为：

[0015]

$$\begin{cases}\dfrac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t} \approx \dfrac{x_n(t+T)-x_n(t-T)}{2T}\\[2mm] \dfrac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t} \approx \dfrac{\Delta x_n(t+T)-\Delta x_n(t-T)}{2T}\\[2mm] \dfrac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2} \approx \dfrac{8[x_n(t+T)-x_n(t-T)]-x_n(t+2T)+x_n(t-2T)}{12T}\end{cases}$$

[0016]　式中，T 为采样周期；

[0017]　得到密度饱和状态下的电子空穴微观离散交通流模型为：

[0018]　$x_n(t+2T)=(8+6a)[x_n(t+T)-x_n(t-T)]-12aTV[\Delta x_n(t)]-6\lambda_a[\Delta x_n(t+T)-\Delta x_n(t-T)]-12Tf+x_n(t-2T)$。

[0019]　本发明的有益效果是：由于在多车道情况下将交通流速度模型中前方车辆影响按照正常排队、交通信号灯终止行驶车辆、跟车距离太大造成其它车辆插入、相邻车道跟车距离太大导致当前车道车辆插入四种实际交通情况的随机变化，同时引入了前方多辆车的优化速度关于车距的变化率、前方车辆作用的滞后时间及加权因子，并可以根据实际交通情况调整考虑前方多辆车的个数、前方车辆作用的滞后时间及加权因子等参数，使得建立的新微观交通流模型更接近于实际，解决了设计新道路、对现有道路运行管理和交叉路口信号灯控制中交通流建模技术问题，为交通控制、决策提供了基本依据。

[0020]　下面结合具体实施方式对本发明作详细说明。

具体实施方式

[0021]　密度饱和状态下的电子空穴微观交通流建模方法的具体步骤如下：

[0022]　1、密度饱和状态下的电子空穴微观交通流模型为：

[0023]

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2} = a\{V[\Delta x_n(t)] - \dfrac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}\} + \lambda_a \dfrac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t} + f \\ f = \begin{cases} \sum_{k=1}^{N} \{\gamma_{ak} \{V[\Delta x_{n+k}(t-\Delta t_{k-1})] - V[\Delta x_{n+k-1}(t-\Delta t_{k-1})]\}\} & s=0 \\ -A & s=1 \\ \gamma_a \operatorname{sgn}[x_{n+1}(t) - x_n(t) - d_a]\{V[\Delta x_i(t)] - V[\Delta x_n(t)]\} & s=2 \\ \gamma_{b0} \operatorname{sgn}(d_b)\{V[\Delta x_n(t)] - V[\Delta x_{n-1}(t)]\} + \gamma_{b1}[1-\operatorname{sgn}(d_b)]\{V[\Delta x_{n+1}(t)] - V[\Delta x_{n-1}(t)]\} & s=3 \end{cases} \end{cases}$$

[0024] 式中，$x_n(t)$ 是时刻 t 第 n 辆车所在位置，$\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}$是时刻 t 第 n 辆车的速度，$\Delta x_n(t)$ 是连续的两辆车之间的车头间距，$V[\Delta x_n(t)]$ 是第 n 辆车优化速度函数，a 是驾驶员的敏感系数，λ_a 是相对速度差的反应参数，$\gamma_{ak} \geqslant 0$ 是对第 n+k-1 辆车优化速度差的反应参数，Δt_{k-1} 为第 n 辆车前方第 n+k-1 辆车对第 n 辆车的优化速度差反应参数所取的延迟时间，正常排队时 s = 0，前方的第 n+1 辆车通过斑马线而第 n 辆车被交通信号灯禁止通过时 s = 1，第 n 辆车跟随前方的第 n+1 辆车行驶时有空隙而被其它车道车辆插入、第 n 辆车不得不调整速度时 s = 2，第 n 辆车驶向其它车道插队时 s = 3，sgn 为符号函数，$\operatorname{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$，$d_a$ 为车辆可以插入的最小跟车空隙，γ_a 为第 n 辆车对插入车辆的反应系数，$V[\Delta x_i(t)]$ 为插入车辆的前向优化速度函数，当第 n 辆车驶向其它车道但尾部仍在当前车道导致后方的第 n-1 车不能越过时 $d_b=1$，当第 n 辆车已经完全驶向其它车道、当前车道后方的第 n-1 车能够越过时 $d_b=-1$，γ_{b0} 为第 n-1 辆车对第 n 辆车驶向其它车道但尾部仍在当前车道的反应系数，γ_{b1} 为第 n-1 辆车对第 n 辆车已经完全驶向其它车道、可以加速追赶跟随前方第 n+1 辆车的反应系数，A>0 为刹车加速度；

[0025] 2、模型中的参数关系为：$\Delta t_k - \Delta t_{k-1} > 0$，$\gamma_{ak} > \gamma_{a(k+1)}$ (k=1, 2, …, N)；

[0026] 3、将$\frac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t}$、$\frac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2}$近似表达为：

[0027]
$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}x_n(t)}{\mathrm{d}t} \approx \dfrac{x_n(t+T) - x_n(t-T)}{2T} \\ \dfrac{\mathrm{d}\Delta x_n(t)}{\mathrm{d}t} \approx \dfrac{\Delta x_n(t+T) - \Delta x_n(t-T)}{2T} \\ \dfrac{\mathrm{d}^2 x_n(t)}{\mathrm{d}t^2} \approx \dfrac{8[x_n(t+T) - x_n(t-T)] - x_n(t+2T) + x_n(t-2T)}{12T} \end{cases}$$

[0028] 式中，T 为采样周期；

[0029] 得到密度饱和状态下的电子空穴微观离散交通流模型为：

[0030] $x_n(t+2T) = (8+6a)[x_n(t+T) - x_n(t-T)] - 12aTV[\Delta x_n(t)] - 6\lambda_a[\Delta x_n(t+T) - \Delta x_n(t-T)] - 12Tf + x_n(t-2T)$。