



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106991251 B

(45)授权公告日 2020.03.31

(21)申请号 201710285324.8

(22)申请日 2017.04.27

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106991251 A

(43)申请公布日 2017.07.28

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼2号

(72)发明人 陈雄辉 伍家松

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限

公司 32200

代理人 朱桢荣

(51)Int.Cl.

G06F 30/20(2020.01)

审查员 杨杭

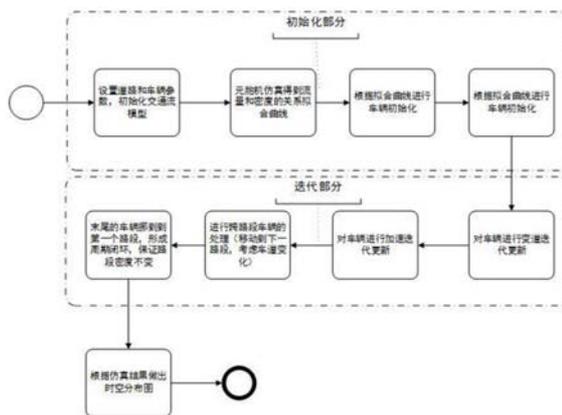
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种高速公路交通流元胞机仿真方法

(57)摘要

本发明公开了一种高速公路交通流元胞机仿真方法,是融合多路段车辆密度和车道个数变化的高速公路交通流元胞机仿真方法,建立一个基于真实的高速公路的流量情况,多路段不同道路特征、车辆情况建立的元胞机的仿真模型。将检测到的流量,映射到道路密度进行道路的状态仿真,做真实的测量数据和元胞机的车辆数的映射;并提出了元胞机的新的一种边界条件,考虑高速公路车道个数变化,多个路段的密度不一样,并且涉及到车道之间的车辆信息传递的一些工作,经过检验,交通流仿真结果更为精确,能够模拟实际的交通流的数据。



1. 一种高速公路交通流元胞机仿真方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、初始化车辆规格参数数据和真实路段的参数数据;

步骤二、使用元胞机位置更新规则和边界条件规则进行仿真,以得到每一个路段的真实车辆密度;

步骤三、对步骤二得到的每一个路段的真实车辆密度再次利用步骤二的元胞机位置更新规则和边界条件规则,得到元胞机中每个路段的每一辆车的在每个时刻的位置情况;

步骤四、根据步骤三得到的元胞机中每个路段的每一辆车的在每个时刻的位置情况,生成能够表现出车道个数变化和路段间的数据交互的时空分布图;

步骤二具体如下:

(1) 先随机生成模拟的车辆密度数据 $path_{density}$,依次根据元胞机位置更新规则和边界条件规则进行仿真;其中,

元胞机位置更新规则包括:首先,根据最右车道优先的变道规则对每辆车进行车辆的变道的逻辑判断,获得汽车的下一次车道位置;之后,完成变道操作后,根据随机慢化规则、慢启动规则和极限巡航驾驶规则进行车辆的速度更新的逻辑判断,获得汽车的下一次的行驶速度,并根据生成的每一辆车的下一次行驶速度和下一次车道位置来更新车辆的位置;

边界条件规则包括:利用获得的单个路段的车辆的更新后的位置,以不同路段之间作为开口边界,路段首尾用周期性封闭边界进行链接,来完成更新路段间的交互部分的车辆信息;

(2) 每一个不同的模拟的 $path_{density}$ 都经过仿真得到一个对应的车流量计数数据 $path_{flow}$;由此,得到一组组的 $(path_{flow}, path_{density})$ 数据对;

由生成的每组 $(path_{flow}, path_{density})$ 数据对,进行使用4次多项式进行曲线拟合,得到 $path_{density}=f(path_{flow})$ 的拟合函数;

(3) 由拟合函数 $path_{density}=f(path_{flow})$,将每一个道路真实车辆计数作为函数的输入,得到该路段的真实车辆密度。

2. 根据权利要求1所述的一种高速公路交通流元胞机仿真方法,其特征在于,所述车辆规格参数数据包括车辆长度 car_{length} 、最大行驶速度 $car_{max_velocity}$ 、随机慢化概率 car_{slow} 、慢启动概率 car_{slow_launch} 和极大巡航概率 car_{high_drive} ,真实路段的参数数据包括每个路段的长度 $path_{length}$ 、车道个数 $path_{lanes}$ 和真实车流量计数 $path_{flow}$;根据初始化车辆参数数据和真实路段数据生成元胞机模型。

3. 根据权利要求2所述的一种高速公路交通流元胞机仿真方法,其特征在于,所述真实车流量计数是指单位时间经过该路段的车辆数。

4. 根据权利要求1所述的一种高速公路交通流元胞机仿真方法,其特征在于,车辆密度数据是指单位面积的车辆个数。

一种高速公路交通流元胞机仿真方法

技术领域

[0001] 本发明涉及交通系统规划技术领域,特别是一种高速公路交通流元胞机仿真方法。

背景技术

[0002] 交通流理论的研究目标是建立一套能描述交通一般特性的交通流模型,寻找交通流动的基本规律,以揭示交通拥堵产生的机理。根据研究方法的不同,可以将各种交通流模型分为微观车辆跟驰模型和元胞机模型,以及宏观连续模型和中观气体动理论模型。元胞机在20世纪80年代提出,20世纪90年代得到迅猛发展。人们把元胞机理论应用于交通流的研究,采用离散的时空和状态变量,规定车辆运动的演化规则,并通过大量的样本平均来揭示交通运行规律。由于交通元素从本质上来说是离散的。用元胞机理论研究交通,避免了离散-连续-离散的近似过程,因此其具有独特的优越性。与其他模型相比,元胞机在保留交通这一复杂系统的非线性行为和其他物理特征的同时,更易于计算机操作,并能灵活地修改其规则以考虑各种真实交通条件,如路障、高速公路出入匝道、驾驶员过度反应引起的随机慢化等。

[0003] 目前的元胞机模型对于车辆初始化的仿真没有考虑到真实流量和密度的对应关系,多个路段情况下的车道个数变化,车辆密度变化带来的影响;如何利用真实的交通道路的数据,去尽可能真实的反应到元胞机模型中是目前现有技术中存在的问题。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是克服现有技术的不足,而提供一种高速公路交通流元胞机仿真方法,通过扩展元胞机的道路模型,发明了一种可以用于高速公路路况的元胞机的边界条件,并通过仿真结果拟合的方式得到元胞机中交通流量,交通流密度,平均车速三者的关系,使得我们可以通过真实的交通流测量数据得到一个比较适合元胞机的交通流密度,使得交通流仿真结果更为精确。

[0005] 本发明为解决上述技术问题采用以下技术方案:

[0006] 根据本发明提出的一种高速公路交通流元胞机仿真方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤一、初始化车辆规格参数数据和真实路段的参数数据;

[0008] 步骤二、使用元胞机位置更新规则和边界条件规则进行仿真,以得到每一个路段的真实车辆密度;

[0009] 步骤三、对步骤二得到的每一个路段的真实车辆密度再次利用步骤二的元胞机位置更新规则和边界条件规则,得到元胞机中每个路段的每一辆车的在每个时刻的位置情况;

[0010] 步骤四、根据步骤三得到的元胞机中每个路段的每一辆车的在每个时刻的位置情况,生成能够表现出车道个数变化和路段间的数据交互的时空分布图。

[0011] 作为本发明所述的一种高速公路交通流元胞机仿真方法进一步优化方案,所述车

辆规格参数数据包括车辆长度 car_{length} 、最大行驶速度 $car_{max_velocity}$ 、随机慢化概率 car_{slow} 、慢启动概率 car_{slow_launch} 和极大巡航概率 car_{high_drive} ，真实路段的参数数据包括每个路段的长度 $path_{length}$ 、车道个数 $path_{lanes}$ 和真实车流量计数 $path_{flow}$ ；根据初始化车辆参数数据和真实路段数据生成元胞机模型。

[0012] 作为本发明所述的一种高速公路交通流元胞机仿真方法进一步优化方案，所述真实车流量计数是指单位时间经过该路段的车辆数。

[0013] 作为本发明所述的一种高速公路交通流元胞机仿真方法进一步优化方案，步骤二具体如下：

[0014] (1) 先随机生成模拟的车辆密度数据 $path_{density}$ ，依次根据元胞机位置更新规则和边界条件规则进行仿真；其中，

[0015] 元胞机位置更新规则包括：首先，根据最右车道优先的变道规则对每辆车进行车辆的变道的逻辑判断，获得汽车的下一次车道位置；之后，完成变道操作后，根据随机慢化规则、慢启动规则和极限巡航驾驶规则进行车辆的速度更新的逻辑判断，获得汽车的下一次的行驶速度，并根据生成的每一辆车的下一次行驶速度和下一次车道位置来更新车辆的位置；

[0016] 边界条件规则包括：利用获得的单个路段的车辆的更新后的位置，以不同路段之间作为开口边界，路段首尾用周期性封闭边界进行链接，来完成更新路段间的交互部分的车辆信息；

[0017] (2) 每一个不同的模拟的 $path_{density}$ 都经过仿真得到一个对应的车流量计数数据 $path_{flow}$ ；由此，得到一组的 $(path_{flow}, path_{density})$ 数据对；

[0018] 由生成的每组 $(path_{flow}, path_{density})$ 数据对，进行使用4次多项式进行曲线拟合，得到 $path_{density} = f(path_{flow})$ 的拟合函数；

[0019] (3) 由拟合函数 $path_{density} = f(path_{flow})$ ，将每一个道路真实车辆计数作为函数的输入，得到该路段的真实车辆密度。

[0020] 作为本发明所述的一种高速公路交通流元胞机仿真方法进一步优化方案，车辆密度数据是指单位面积的车辆个数。

[0021] 本发明采用以上技术方案与现有技术相比，具有以下技术效果：

[0022] (1) 使用元胞机规则进行单路段的车辆位置的更新迭代，针对高速公路的具体情况，取各个元胞机中适用于道路模型的地方，并针对高速公路的车辆行为和道路特征进行进一步拓展，使得交通流仿真结果更为精确；

[0023] (2) 通过扩展元胞机的道路模型，发明了一种可以用于高速公路路况的元胞机的边界条件，并通过仿真结果拟合的方式得到元胞机中交通流量，交通流密度，平均车速三者的关系，使得我们可以通过真实的交通流测量数据得到一个比较适合元胞机的交通流密度。

附图说明

[0024] 图1是交通流密度，平均速度，流量三者的关系；其中，(a)是速度和流量的关系，(b)是密度和速度的关系，(c)是密度和流量的关系。

[0025] 图2是对实例路段进行车辆数据初始化的结果示意图。

[0026] 图3是元胞自动机的系统流程图。

具体实施方式

[0027] 本发明公开了一种融合多路段车辆密度和车道个数变化的高速公路交通流元胞机仿真方法,首先,对车辆数据和道路数据的初始化,然后在元胞机中进行迭代,最后,对结果进行可视化。以下是我们摘取美国405号公路的部分的车辆信息,作为输入数据进行的具体执行过程,如图3是元胞自动机的系统流程图:

[0028] (1) 初始化车辆规格参数数据和真实路段的参数数据:

[0029] (1-1) 设置车辆规格参数数据,如下表1所示:

[0030] 表1

参数	数值
长度 car_{length}	4.5 米+1.5 米 (安全距离)
最大行驶速度 $car_{max_velocity}$	60 英里/时 (miles/h)
随机慢化概率 car_{slow}	0.1
慢启动概率 car_{slow_launch}	0.75
极大巡航概率 car_{high_drive}	0.9

[0033] (1-2) 真实路段的参数数据 (截取部分单元), 如表2所示:

[0034] 表2

路段开始 里程数 $path_{start}$ (miles)	路段 结束里程 数 $path_{end}$ (miles)	年平均每天经 过这个里程的车辆 的个数 $path_{total_flow}$	里程数 减少方向的 车道个数 $path_{des_lanes}$	里程数 增加方向的 车道个数 $path_{ins_lanes}$
10.15	11.56	120000	2	1
10.15	11.56	120000	2	2
13.42	13.78	141000	3	3
10.15	11.56	120000	2	2

[0036] 我们取车道里程数增加的方向进行模拟,则:

[0037] 每个路段的长度 $path_{length} = path_{end} - path_{start}$, 车道个数

[0038] $path_{lanes} = path_{ins_lanes}$,

[0039] 真实车流量计数 $path_{flow} = path_{total_flow} \div path_{ins_lanes}$, 根据初始化车辆数据和真实路段数据可以生成元胞机模型,包括:生成每个路段的地图矩阵

[0040] $path_{map}$ 和该路段拥有的车辆 $path_{cars}$ 。

[0041] (2) 使用元胞机位置更新规则和边界条件规则进行仿真,以得到每一个路段的道路车辆密度:

[0042] (2-1) 先随机生成模拟的车辆密度数据(单位面积的车辆个数) $path_{density}$,由此得到的每个路段的车辆个数,在地图矩阵 $path_{map}$ 中进行车辆的初始化,初始化方案如下:

[0043] 初始化车辆个数 $path_{car}$ 计算如下:

[0044] $path_{car} = path_{density} \times path_{length}$

[0045] 随机得到一个合法的车辆位置:

$$[0046] \quad \begin{cases} car_{lane}^n = random(0, path_{lane}) \\ car_{place}^n = random(0, path_{length}) \end{cases},$$

[0047] 其中, car_{lane}^n 代表第n辆车所在的车道编号, car_{place}^n 代表第n辆车车头的元胞在路段中的位置; $random(a, b)$ 表示的是从a到b的范围中,随机获取一个整数。合法的含义是:车辆的车道编号是在该路段中存在的;车辆车头的元胞在路段中的位置实在该路段的长度范围内的。

[0048] 同时,每一辆车辆的车道和位置必须满足以下安全性条件:

$$[0049] \quad \begin{cases} d_n^+ \geq 0 \\ d_n^- \geq 0 \end{cases},$$

[0050] 其中, $d_n^+ = car_{place}^{n+1} - car_{length}^{n+1} - car_{place}^n$, d_n^+ 代表的是第n辆车和前面的车的距

离, $d_n^- = car_{place}^n - car_{length}^n - car_{place}^{n-1}$, d_n^- 代表的是第n辆车和后面的车的距离, $n+1$ 代表该路段中在第n辆车前面的第一辆车, $n-1$ 代表该路段中在第n辆车后面的第一辆车;以表2的第一行的数据为例进行初始化,我们取流量对应的较小密度可能的数据,结果如图2所示,图2是对实例路段进行车辆数据初始化的结果示意图;

[0051] (2-2) 依次根据元胞机位置更新规则和边界条件规则进行仿真,具体如下:

[0052] (2-2-1) 首先,根据以下规则进行车辆的变道的逻辑判断,目标是让车辆尽可能在最右边的车道

[0053] 首先进行右边变道的决策,决策条件如下:

$$[0054] \quad \begin{cases} lane_n(t-1)-1 > 0 \\ d_n^{r-}(t) \geq v_{max} \\ d_n^{r+}(t) > d_n^+(t) \end{cases}$$

[0055] 若同时满足以上三个条件,则决策条件满足,否则不满足,决策方案如下:

$$[0056] \quad lane_n(t) = \begin{cases} lane_n(t-1)-1, & \text{满足决策条件} \\ lane_n(t-1), & \text{不满足决策条件} \end{cases}$$

[0057] 如果不能进行右边变道,进行左边变道的决策,决策条件是:

$$[0058] \quad \begin{cases} lane_n(t-1) \leq path_{lane}^n \\ d_n^{r-}(t) \geq car_{max_velocity}^n \\ d_n^{l+}(t) > d_n^+(t) \\ d_n^+(t) < \min(car_{velocity}^n(t)+1, car_{max_velocity}^n) \text{ or } car_{velocity}^n(t) = 0 \\ d_n^{r+}(t) < d_n^+(t) \end{cases}$$

[0059] 若同时满足以上五个条件,则决策条件满足,否则不满足,决策方案如下:

$$[0060] \quad lane_n(t) = \begin{cases} lane_n(t-1)+1, & \text{满足决策条件} \\ lane_n(t-1), & \text{不满足决策条件} \end{cases}$$

[0061] 其中, $lane_n(t)$ 代表的是 t 时刻, 第 n 辆车所在的车道位置;

[0062] $d_n^{fs}(t)$ 代表的是第 n 辆车在 t 时刻与周围的车辆的距离, f 代表的是车道方向: 用 'l' 指代其左边的车道的车辆, 'r' 指代其右边的车道的车辆; 如果没有标志符, 则代表当前车道的车辆; s 代表位置关系: 用 '+' 代表前面的车辆, 用 '-' 代表后面的车辆 $car_{velocity}^n(t)$ 代表的是第 n 辆车在 t 时刻的速度的值, $car_{max_velocity}^n$ 代表的是第 n 辆车的最大速度的值, 这个数据是在初始化车辆数据的时候定好的。

[0063] 最后, 对决策结果进行一次 0-1 分布实验, 即有概率 p 撤销变道决策, 即有概率 p , 使得: $lane_n(t) = lane_n(t-1)$

[0064] (2-2-2) 完成变道操作后, 根据以下规则进行车辆的速度更新的逻辑判断:

[0065] 首先进行加速:

$$[0066] \quad car_{velocity}^n(t) = \min(v_n + 1, car_{max_velocity}^n)$$

[0067] 减速(考虑了前面的车子的加速度):

$$[0068] \quad car_{velocity}^n(t) = \min(car_{velocity}^n(t), d_n + v'_{n+1})$$

[0069] 其中: $v'_{n+1} = \min(car_{max_velocity}^n - 1, car_{velocity}^{n+1}(t) - a, \max(0, d_{n+1}^+ - 1))$, 是对前面的车辆预计下一轮的行驶速度的最小值。

[0070] 随机慢化(综合了慢启动和极限巡航驾驶模式的随机慢化规则)

$$[0071] \quad car_{velocity}^n(t) = \begin{cases} 0, & \text{当 } car_{velocity}^n(t-1) = 0 \text{ 时, 有 } car_{slow_launch} \text{ 的概率执行} \\ car_{velocity}^n(t-1) - 1, & \text{其他情况, 有 } car_{slow} \text{ 的概率执行} \\ car_{velocity}^n(t-1), & \text{当 } car_{velocity}^n(t-1) = car_{max_velocity}^n, \text{ 有 } car_{high_drive} \text{ 的概率执行} \end{cases}$$

[0072] 其中, 当 $car_{velocity}^n(t-1) = 0$ 时, 执行的是慢启动规则; 其他情况下, 执行的是随机慢化规则, 当 $car_{velocity}^n(t-1) = car_{max_velocity}^n$, 执行的是极限巡航驾驶规则, 根据生成的最终速度进行位置更新:

$$[0073] \quad x_n(t) = x_n(t-1) + car_{velocity}^n(t)$$

[0074] 其中, x_n 代表的是第 n 号车在 t 时刻在地图中的位置。

[0075] (2-2-3) 当利用(2-2)和(2-3)的算法对所有的车辆在该路段的位置更新之后,要进行不同路段(不同里程)的边界信息交互:

[0076] 每个路段的结尾是一个开口边界,根据以下规则将离开本路段的车辆的信息移交给下一个路段:当更新结束后, $x_n(t) > \text{path}_{\text{place}}^m$,说明该辆车已越界,变换车辆的位置信息 $x_n(t) = x_n(t) - \text{path}_{\text{place}}^m$ 后,将该辆车放入下一个路段中的,并将该车辆信息从移除。其中 $\text{path}_{\text{place}}^m$ 代表的是第m个路段的道路长度信息;

[0077] 根据以下规则将本路段更新完毕后的路段信息移交给上一个路段:

[0078] $\text{path}_{\text{map}}^n[\text{path}_{\text{place}} : \text{path}_{\text{place}} + \max(\text{car}_{\text{max_velocity}})] = \text{path}_{\text{map}}^{n+1}[0 : \max(\text{car}_{\text{max_velocity}})]$ 其中” : ”代表下标切片,比如[1:10],代表取列表中第1号下标到第10号下标的部分的列表。

[0079] 离开最后一个路段的车辆重新回到第一个路段,形成周期性边界闭环,以保证仿真过程中路段的综合交通流密度不变。

[0080] (2-3) 每一个不同的模拟的 $\text{path}_{\text{density}}$ 都能经过仿真得到一个得到对应的车流量计数数据 $\text{path}_{\text{flow}}$, 车辆的平均行驶速度 $\text{path}_{\text{velocity}}$ 。由此,我们能够得到一组的 $(\text{path}_{\text{imageflow}}, \text{path}_{\text{density}}, \text{path}_{\text{velocity}})$ 数据对。

[0081] 由生成的每组 $(\text{path}_{\text{imageflow}}, \text{path}_{\text{density}}, \text{path}_{\text{velocity}})$ 数据对,进行使用4次多项式进行曲线拟合,得到 $\text{path}_{\text{density}} = f(\text{path}_{\text{flow}})$ 的拟合函数。

[0082] (2-4) 由拟合函数 $\text{path}_{\text{density}} = f(\text{path}_{\text{flow}})$, 我们可以把每一个道路真实车辆计数 $\text{path}_{\text{flow}}$ 作为函数的输入,便可以得到该路段真实车辆密度 $\text{path}_{\text{density}}$, 根据实际函数分布情况,我们使用4次多项式进行曲线拟合,得到

[0083] $\text{path}_{\text{density}} = f(\text{path}_{\text{flow}})$ 的拟合函数;使用5次多项式拟合,得到

[0084] $\text{path}_{\text{volume}} = f(\text{path}_{\text{velocity}})$ 的拟合函数,使用1次多项式拟合,得到

[0085] $\text{path}_{\text{density}} = f(\text{path}_{\text{velocity}})$ 的拟合函数,结果如图1所示,图1是交通流密度,平均速度,流量三者的关系;其中,图1中的(a)是速度和流量的关系,图1中的(b)是密度和速度的关系,图1中的(c)是密度和流量的关系;由此,使用得到的拟合函数 $\text{path}_{\text{density}} = f(\text{path}_{\text{flow}})$, 经过计算,我们的得到的表达式为:

$$\begin{aligned} \text{path}_{\text{density}} = & -5.456 \times 10^{-6} \times \text{path}_{\text{flow}}^4 + 3.615 \times 10^{-3} \times \text{path}_{\text{flow}}^3 \\ \text{[0086]} \quad & -8.408 \times 10^{-1} \times \text{path}_{\text{flow}}^2 + 73.330 \times \text{path}_{\text{flow}} + 12.854 \end{aligned}$$

[0087] 这样,我们可以根据每一个道路真实车辆计数的 $\text{path}_{\text{flow}}$ 数据得到其真实的道路车辆密度 $\text{path}_{\text{density}}$, 一个流量对应两种密度可能,一种是低畅通情况,一种是阻塞情况,需要根据使用者的需求来选择,根据 $\text{path}_{\text{density}}$ 初始化每一个路段的车辆,每一辆车对应多个元胞,元胞个数与 $\text{car}_{\text{length}}$ 的大小成比例。

[0088] (3) 再次利用(2-2)的元胞机速度位置更新规则和边界条件规则,使用(2-4)得到的道路车辆密度数据进行真实情况的仿真:

[0089] (3-1) 使用的(2-2)元胞机速度位置更新规则和边界条件规则进行元胞机的仿真,区别在(2-1)的车辆密度数据是随机生成的,此次的车辆密度数据使用的是步骤二得到的每个路段的真实车辆密度 $\text{path}_{\text{density}}$;

[0090] 经过仿真,可以得到元胞机每个路段的每一辆车的在每个时刻的位置情况;

[0091] 我们使用表2的数据进行初始化,取流量对应的较小密度:

[0092] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单推演或替代,都应当视为属于本发明的保护范围。

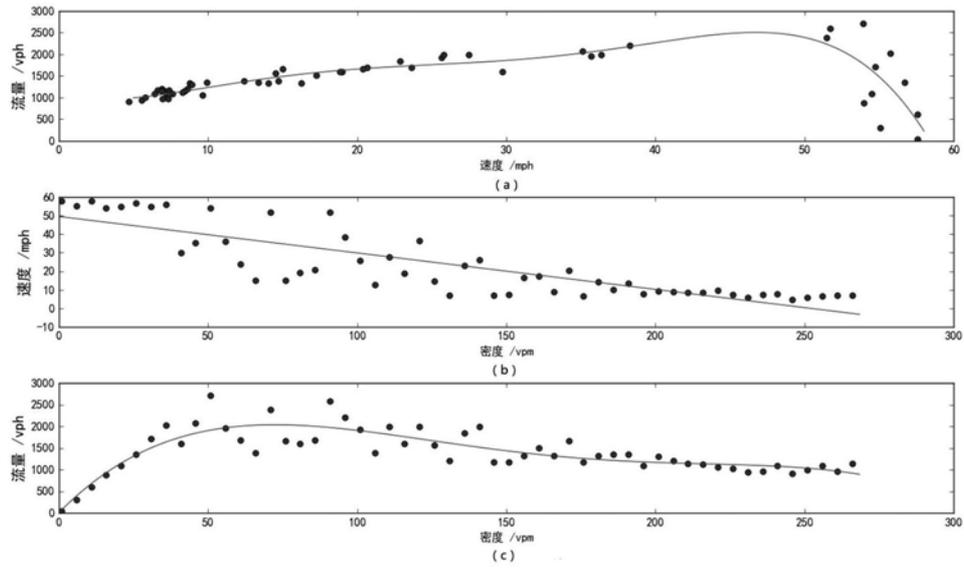


图1

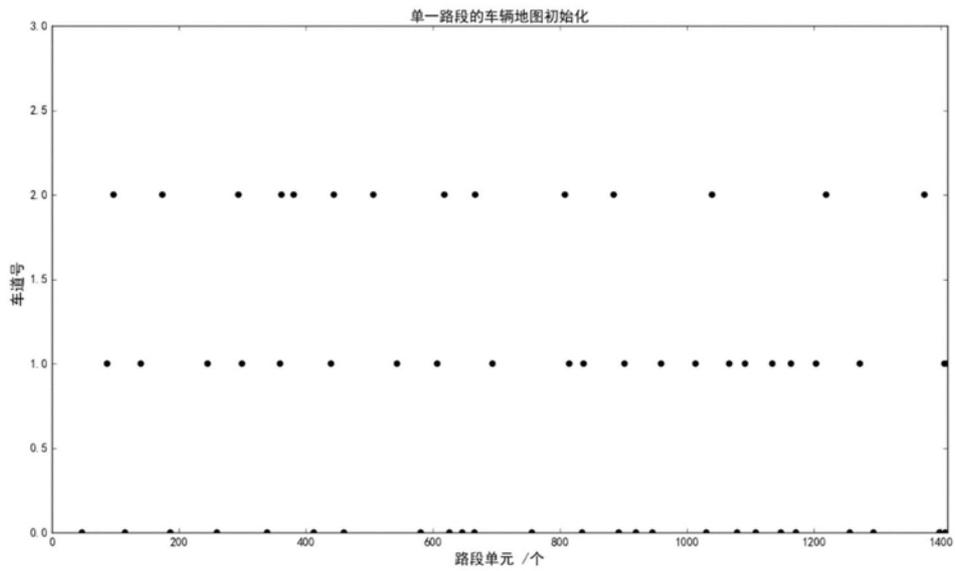


图2

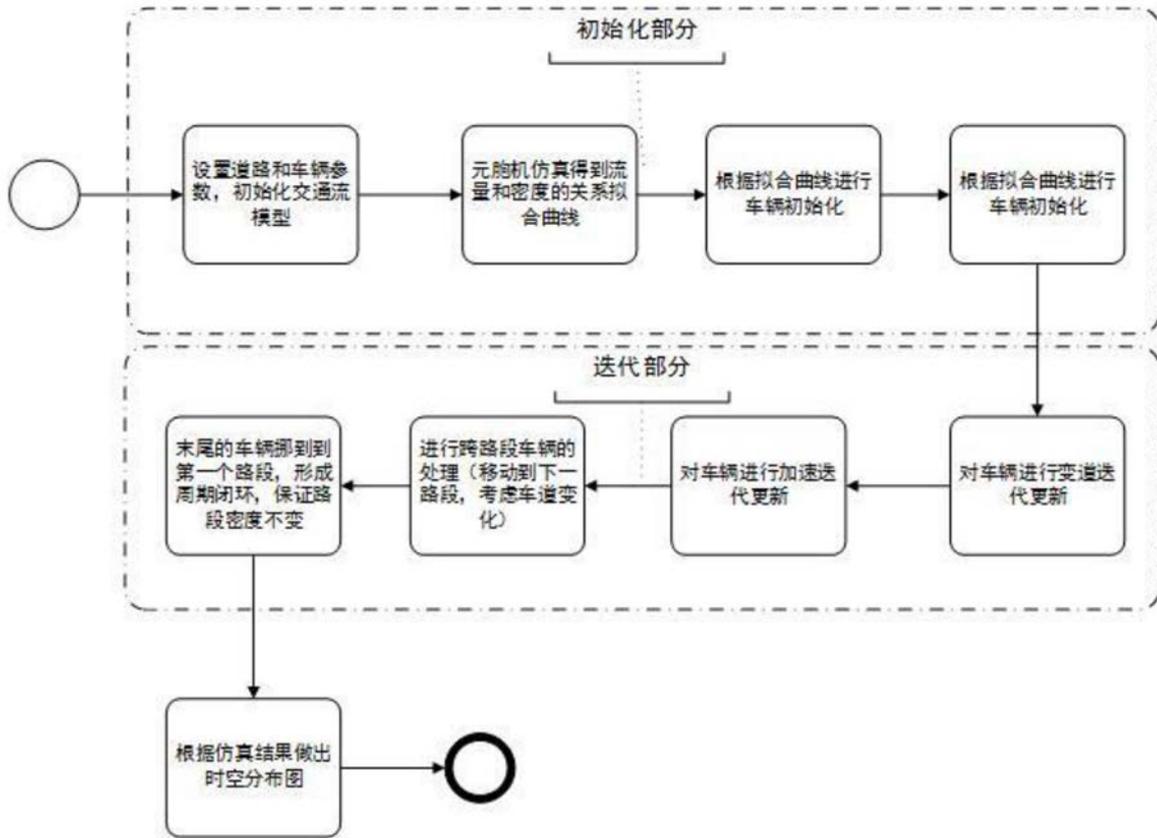


图3