



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107792079 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 31

(21) 申请号 201710758086.8

(22) 申请日 2017.08.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107792079 A

(43) 申请公布日 2018.03.13

(30) 优先权数据
15/252,425 2016.08.31 US

(73) 专利权人 福特全球技术公司
地址 美国密歇根州迪尔伯恩市中心大道
330号800室

(72) 发明人 邓堃 骆望东 刘南君
亚历克斯·莫里斯·米勒

(74) 专利代理机构 北京连和连知识产权代理有
限公司 11278

专利代理师 张涛

(51) Int.Cl.

B60W 50/00 (2006.01)

B60W 30/095 (2012.01)

(56) 对比文件

CN 105035090 A, 2015.11.11

US 2014032090 A1, 2014.01.30

CA 2898777 A1, 2014.08.07

US 2004111200 A1, 2004.06.10

US 2014350767 A1, 2014.11.27

王怡等. 对具有不确定性的移动对象数据库
的模型改进. 《计算机应用研究》. 2006, (第05
期),

审查员 周严

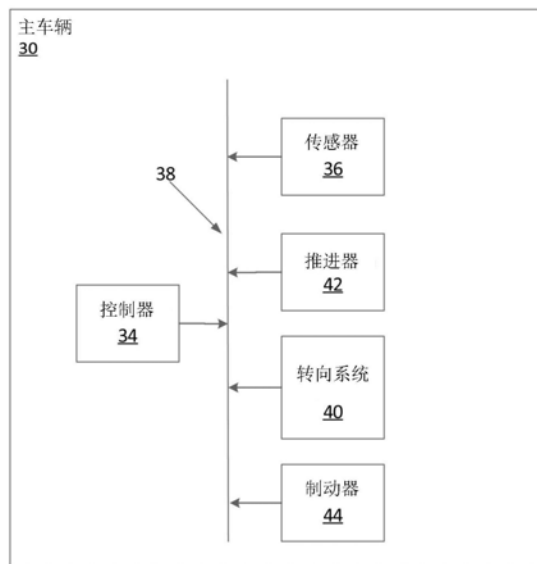
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

利用路径预测的自主车辆

(57) 摘要

一种主车辆中的控制器包括处理器和存储
处理器可执行指令的存储器。处理器编程为基于
目标车辆的当前位置和速度以及未来时间来计
算预测位置的置信区间的误差界限,该预测位置
为在未来时间的目标车辆横向相对于主车辆在
当前时间的当前位置和取向的位置。



1. 一种车辆的路径预测的方法,包括:

基于目标车辆的当前位置和速度以及未来时间来计算预测位置的置信区间的误差界限,所述预测位置为在所述未来时间的所述目标车辆横向相对于主车辆在当前时间的当前位置和取向的位置,其中所述误差界限与所述未来时间具有线性关系。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述误差界限是进一步基于所述主车辆的当前速度和横摆率。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述误差界限是进一步基于所述主车辆和所述目标车辆之间的相对方位角。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中所述误差界限从如下方程式确定:

$\varepsilon(t, s) = b(t) * (s - t) + c(t)$, 其中

$$b(t) = \frac{1}{1 + \cos(\alpha^M(t))} * \left(\frac{|x_{targ}^M(t)| + \sigma_{xtarg}}{\bar{x}_{targ}} \right) * \left(\frac{|y_{targ}^M(t)| + \sigma_{ytarg}}{\bar{y}_{targ}} \right) * \left(\frac{|v_{targ}^M(t)| + \sigma_{vtarg}}{\bar{v}_{targ}} \right) * \left(\frac{|v_{host}^M(t)| + \sigma_{vhost}}{\bar{v}_{host}} \right) * \left(\frac{|w_{host}^M(t)| + \sigma_{w_{host}}}{\bar{w}_{host}} \right), \text{ 以及}$$

$$c(t) = \frac{\sqrt{(x_{targ}^M(t))^2 + (y_{targ}^M(t))^2}}{\bar{b}}; \text{ 其中}$$

ε 为所述误差界限, t 为所述当前时间, s 为所述未来时间, $(x_{targ}^M(t), y_{targ}^M(t))$ 为所述目标车辆在以主车辆为中心的坐标系中的所述当前位置, $v_{targ}^M(t)$ 为所述目标车辆的当前速度, $v_{host}^M(t)$ 为所述主车辆的所述当前速度, $w_{host}^M(t)$ 为所述主车辆的当前横摆率, $\alpha^M(t)$ 为所述主车辆和所述目标车辆之间的所述相对方位角, \bar{x}_{targ} 为所述目标车辆的横向偏移界限, \bar{y}_{targ} 为所述目标车辆的纵向偏移界限, \bar{b} 为所述目标车辆的位置界限, \bar{v}_{targ} 为所述目标车辆的速度界限, \bar{v}_{host} 为所述主车辆的速度界限, \bar{w}_{host} 为所述主车辆的横摆率界限, 以及 σ_{xtarg} 、 σ_{ytarg} 、 σ_{vtarg} 、 σ_{vhost} 及 $\sigma_{w_{host}}$ 为默认初始化值。

5. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括计算在所述未来时间的所述预测位置。

6. 根据权利要求5所述的方法,利用二次多项式方法生成系数以计算在所述未来时间的所述预测位置。

7. 根据权利要求5所述的方法,进一步包括基于所述预测位置和所述误差界限来控制车辆子系统以躲避所述目标车辆。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中控制所述车辆子系统包括指示制动器制动和指示转向系统转向的至少其中之一。

9. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括计算误差量度,所述误差量度等于所述预测位置与在所述未来时间的所述目标车辆横向相对于所述主车辆的所述当前位置和取向的测量位置的差的绝对值。

10. 根据权利要求9所述的方法,进一步包括计算质量测量值,所述质量测量值等于在1和所述误差界限和所述误差量度的比值中的较小值在一段时期内的最小值。

11. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括基于所述质量测量值来禁用依赖所述误

差界限的特征。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述特征为自动化制动、自动化转向以及自主操作的其中之一。

13. 一种用于车辆的路径预测的计算机,所述计算机编程为执行权利要求1至12中任意一项所述的方法。

14. 一种用于车辆的路径预测的控制器,包括处理器和存储处理器可执行指令的存储器,其中所述处理器编程为:

基于目标车辆的当前位置和速度以及未来时间来计算预测位置的置信区间的误差界限,所述预测位置为在所述未来时间的所述目标车辆横向相对于主车辆在当前时间的当前位置和取向的位置,其中所述误差界限与所述未来时间具有线性关系。

利用路径预测的自主车辆

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及自主车辆领域,并且尤其是涉及一种利用路径预测的自主车辆。

背景技术

[0002] 自主车辆具有在没有人类操作者(例如,驾驶员)干预的情况下运行的能力,亦即,车辆控制器做出关于加速、制动和/或转向车辆的决定。车辆可为完全自主的或半自主的。半自主车辆可仅在特定情况下(例如,公路驾驶或平行停车)或者相对于某些车辆子系统(例如,制动,而非加速或转向)为自主的。

[0003] 自主车辆可包括用于跟踪车辆周围的外部环境的传感器。一些类型的传感器为雷达传感器、扫描激光测距仪、光探测和测距(light detection and ranging, LIDAR)装置以及图像处理传感器(例如摄像机)。车辆控制器与传感器进行通信,并且利用来自传感器的输出来分析外部环境(例如,定义周围地形的特征,检测地形上的道路和道路的车道,解释标志和信号,以及跟踪和分类环境中的对象(例如车辆、骑自行车的人以及行人))。例如,车辆控制器可分类检测到的对象是否为另一台车辆,并且提供关于该另一台车辆的状态信息(例如位置、速度以及前进方向)。

[0004] 车辆控制器利用目标路径预测来预测另一台车辆将行驶到哪里。车辆控制器利用该另一台车辆的所预测到的路径来做出影响车辆运行的决定。因此,当前的路径预测技术的误差和不足是有问题的。有机会改进预测对象(例如目标车辆)的路径的技术。

发明内容

[0005] 根据本发明的一方面,提供一种控制器,包括处理器和存储处理器可执行指令的存储器,其中处理器编程为:

[0006] 基于目标车辆的当前位置和速度以及未来时间来计算预测位置的置信区间的误差界限,预测位置为在未来时间的目标车辆横向相对于主车辆在当前时间的当前位置和取向的位置。

[0007] 根据本发明的一个实施例,误差界限是进一步基于主车辆的当前速度和横摆率。

[0008] 根据本发明的一个实施例,误差界限是进一步基于主车辆和目标车辆之间的相对方位角。

[0009] 根据本发明的一个实施例,误差界限与未来时间具有线性关系。

[0010] 根据本发明的一个实施例,误差界限从如下方程式确定:

[0011] $\epsilon(t, s) = b(t) * (s - t) + c(t)$, 其中

$$[0012] \quad b(t) = \frac{1}{1 + \cos(\alpha^M(t))} * \left(\frac{|x_{targ}^M(t)| + \sigma_{x_{targ}}}{\bar{x}_{targ}} \right) * \left(\frac{|y_{targ}^M(t)| + \sigma_{y_{targ}}}{\bar{y}_{targ}} \right) * \left(\frac{|v_{targ}^M(t)| + \sigma_{v_{targ}}}{\bar{v}_{targ}} \right) *$$

$$\left(\frac{|v_{host}^M(t)| + \sigma_{v_{host}}}{\bar{v}_{host}} \right) * \left(\frac{|w_{host}^M(t)| + \sigma_{w_{host}}}{\bar{w}_{host}} \right), \text{ 以及}$$

$$[0013] \quad c(t) = \frac{\sqrt{(x_{targ}^M(t))^2 + (y_{targ}^M(t))^2}}{\bar{b}}; \text{其中}$$

[0014] ε 为误差界限, t 为当前时间, s 为未来时间, $(x_{targ}^M(t), y_{targ}^M(t))$ 为目标车辆在以主车辆为中心的坐标系中的当前位置, $v_{targ}^M(t)$ 为目标车辆的当前速度, $v_{host}^M(t)$ 为主车辆的当前速度, $w_{host}^M(t)$ 为主车辆的当前横摆率, $\alpha^M(t)$ 为主车辆和目标车辆之间的相对方位角, \bar{x}_{targ} 为目标车辆的横向偏移界限, \bar{y}_{targ} 为目标车辆的纵向偏移界限, \bar{b} 为目标车辆的位置界限, \bar{v}_{targ} 为目标车辆的速度界限, \bar{v}_{host} 为主车辆的速度界限, \bar{w}_{host} 为主车辆的横摆率界限, 以及 σ_{xtarg} 、 σ_{ytarg} 、 σ_{vtarg} 、 σ_{vhost} 及 $\sigma_{w_{host}}$ 为默认初始化值。

[0015] 根据本发明的一个实施例, 误差界限是基于由目标车辆的当前位置和速度、未来时间、主车辆的当前速度和横摆率以及主车辆和目标车辆之间的相对方位角构成的输入。

[0016] 根据本发明的一个实施例, 处理器进一步编程为计算在未来时间的预测位置。

[0017] 根据本发明的一个实施例, 处理器编程为利用二次多项式方法生成系数以计算在未来时间的预测位置。

[0018] 根据本发明的一个实施例, 处理器进一步编程为基于预测位置和误差界限来控制车辆子系统以躲避目标车辆。

[0019] 根据本发明的一个实施例, 控制车辆子系统包括指示制动器制动。

[0020] 根据本发明的一个实施例, 控制车辆子系统包括指示转向系统转向。

[0021] 根据本发明的一个实施例, 处理器进一步编程为计算误差量度, 误差量度等于预测位置与在未来时间的目标车辆横向相对于主车辆的当前位置和取向的测量位置的差的绝对值。

[0022] 根据本发明的一个实施例, 处理器进一步编程为计算质量测量值, 质量测量值等于在1和误差界限和误差量度的比值中的较小值在一段时期内的最小值。

[0023] 根据本发明的一个实施例, 处理器进一步编程为基于质量测量值来禁用依赖误差界限的特征。

[0024] 根据本发明的一个实施例, 特征为自动化制动、自动化转向以及自主操作的其中之一。

[0025] 根据本发明的一方面, 提供一种方法, 包括:

[0026] 基于目标车辆的当前位置和速度以及未来时间来计算预测位置的置信区间的误差界限, 预测位置为在未来时间的目标车辆横向相对于主车辆的当前位置和取向的位置。

[0027] 根据本发明的一个实施例, 误差界限是进一步基于主车辆的当前速度和横摆率以及主车辆和目标车辆之间的相对方位角。

[0028] 根据本发明的一个实施例, 进一步包括计算误差量度, 误差量度等于预测位置与在未来时间的目标车辆横向相对于主车辆的当前位置和取向的测量位置的差的绝对值。

[0029] 根据本发明的一个实施例, 进一步包括计算质量测量值, 质量测量值等于在1和误差界限和误差量度的比值中的较小值在一段时期内的最小值。

[0030] 根据本发明的一个实施例, 进一步包括基于质量测量值来调整路径预测算法。

附图说明

- [0031] 图1为主车辆的框图；
- [0032] 图2为在主车辆上实现目标路径预测的过程的流程图；
- [0033] 图3为基于目标路径预测的质量来禁用主车辆的特征的过程的流程图；
- [0034] 图4为运行确定目标路径预测的质量的测试的过程的流程图；
- [0035] 图5为确定测试运行期间的目标路径预测的质量的过程的流程图；
- [0036] 图6为利用目标路径预测来运行主车辆的过程的流程图；
- [0037] 图7为主车辆和目标车辆之间的交互的示意图。

具体实施方式

[0038] 参考附图,其中相似的附图标记在若干视图中始终表示相似的部分,主车辆30中的控制器34包括处理器和存储处理器可执行指令的存储器。处理器编程为基于目标车辆32的当前位置和速度以及未来时间来计算预测位置的置信区间的误差界限,该预测位置为在该未来时间的目标车辆32横向相对于主车辆30在当前时间的当前位置和取向的位置。

[0039] 因为控制器34基于目标车辆32的最有可能预测到的位置的范围来做出决定,所以误差界限的使用使得目标路径预测以及因此而进行的主车辆30的自主运行更加稳健。而且,误差界限的计算具有适应性,这是因为随着主车辆30的行进计算在持续更新。

[0040] 参考图1,主车辆30可为自主车辆。有时称为“虚拟驾驶员”的控制器34能够独立于人类驾驶员的干预而在较大或较小的程度上(即完全自主地和/或在半自主模式下)操作车辆。控制器34可编程为操作转向系统40、推进器42、制动器44和/或其他车辆系统。为了本公开的目的,完全自主意指主车辆30的转向系统40、推进器42以及制动器44中的每一者均由控制器34来控制;半自主模式为转向系统40、推进器42以及制动器44中的一者或两者由控制器34来操作的模式。

[0041] 控制器34执行各种操作(包括本文中所述的操作)。控制器34为通常包括处理器和存储器的计算装置,存储器包括一种或多种形式的计算机可读介质,并且存储可由处理器执行的用于执行各种操作(包括本文中公开的操作)的指令。控制器34的存储器进一步地通常存储经由各种通信机制接收到的远程数据;例如,控制器34通常配置为在控制器局域网(controller area network,CAN)总线等上进行通信,和/或配置为利用其他有线或无线协议(例如,蓝牙技术(Bluetooth)等)。控制器34还可连接到车载诊断连接器(the second onboard diagnostics,OBD-II)。经由利用以太网、WiFi(wireless fidelity,无线保真技术)、CAN总线、本地互连网络(Local Interconnect Network,LIN)和/或其他有线或无线机制的车辆网络,控制器34可将消息传送到车辆中的各种装置和/或从各种装置接收消息,各种装置例如是,控制器、致动器、传感器等(例如,本文中所讨论的控制器和传感器)。例如,控制器34可从传感器36接收数据。尽管为了便于举例说明而在图1中示出了一个控制器34,但是应当理解的是,控制器34可包括一个或多个计算装置,并且本文中描述的各种操作可由该一个或多个计算装置来执行。

[0042] 控制器34可通过通信网络38(例如控制器局域网(controller area network,CAN)总线、以太网、本地互连网络(Local Interconnect Network,LIN))和/或由任何其他有线或无线通信网络传送信号。控制器34可与传感器36、转向系统40、推进器42、制动器44

以及其他车辆子系统和/或部件进行通信。

[0043] 主车辆30可包括传感器36。传感器36可检测车辆的内部状态(例如车轮转速、车轮取向以及发动机和变速器变量)。传感器36可检测车辆的位置或取向,传感器36例如为全球定位系统(global positioning system,GPS)传感器;加速度计(例如压电系统或微机电系统(microelectromechanical system, MEMS));陀螺仪(例如速率陀螺仪、环形激光陀螺仪或者光纤陀螺仪);惯性测量单元(inertial measurements unit, IMU);以及磁力计。传感器36可检测主车辆30的车身外部的环境,例如,传感器36可包括雷达传感器、扫描激光测距仪、光探测和测距(light detection and ranging, LIDAR)装置以及图像处理传感器(例如摄像机)中的一种或多种。传感器36可包括通信装置(例如车辆对基础设施(vehicle-to-infrastructure, V2I)装置或者车辆对车辆(vehicle-to-vehicle, V2V)装置)。

[0044] 转向系统40一般为已知的车辆转向子系统并且控制主车辆30的车轮的转向。转向系统40与方向盘和控制器34进行通信并且接收来自方向盘和控制器34的输入。转向系统40可为具有电动助力转向器的齿条与小齿轮系统、线控转向系统(二者均为本领域中已知的)或者任何其他适合的系统。

[0045] 主车辆30的推进器42产生能量并且将该能量转化为主车辆30的运动。推进器42可为已知的车辆推进子系统(例如,包括连接到将旋转运动传递到车轮的变速器的内燃机的传统动力传动系统;包括电池、电动马达以及将旋转运动传递到车轮的变速器的电动动力传动系统;包括传统动力传动系统和电动动力传动系统的元件的混合动力传动系统;或者任何其他类型的推进器)。推进器42与控制器34和人类驾驶员进行通信并且接收来自控制器34和人类驾驶员的输入。人类驾驶员可经由例如加速器踏板和/或变速杆来控制推进器42。

[0046] 制动器44一般为已知的车辆制动力子系统,并且设置成抵抗主车辆30的运动,从而使车辆减速和/或停止。制动器44可为摩擦制动器(例如盘式制动器、鼓式制动器、带式制动器等);再生制动器;任何其他适合类型的制动器;或者组合。制动器44与控制器34和人类驾驶员进行通信并且接收来自控制器34和人类驾驶员的输入。人类驾驶员可经由例如制动踏板来控制制动器44。

[0047] 参考图7,下面描述的示例性过程涉及目标路径预测。当主车辆30与目标车辆32正在行驶时,主车辆30可与目标车辆32进行交互。“目标路径预测”意指由主车辆30预测路径P,目标车辆32将沿着路径P行驶。目标车辆32经过的实际路径A可能与预测路径P不同。下面就过程400中的框415对图7中所示的描述车辆30、32的行驶的运动变量进行描述。

[0048] 图2为举例说明在主车辆30上实现目标路径预测的示例性过程200的流程图。过程200可由例如系统设计者用来在一种类型的车辆上测试和实现用于目标路径预测的算法。过程200开始于执行如图4中所示并且在下面描述的运行确定目标路径预测的质量的测试的示例性过程400。过程400将目标路径预测的质量测量值Q送回到控制器34。

[0049] 接下来,在接收到来自过程400的输入之后,在决定框205中,控制器34确定质量测量值Q是否高于质量阈值 Q_{th} 。该质量阈值为为了确保目标路径预测的足够稳健性能而选择的值。

[0050] 如果质量测量值Q不高于质量阈值 Q_{th} ,则接下来在框210中系统设计者基于质量测量值Q来调整用于目标路径预测的路径预测算法。如已知的(下面关于过程400的框420以及

过程500的框515所描述的),系统设计者可调整用于目标路径预测算法(例如二次多项式方法)的参数。可替代地或者另外,系统设计者可调整关于路径预测算法的误差界限方面的参数(下面关于过程500的框525所描述的),该参数例如为目标车辆32的横向偏移界限 \bar{x}_{targ} 、目标车辆32的纵向偏移界限 \bar{y}_{targ} 、目标车辆32的位置界限 \bar{b} 、目标车辆32的速度界限 \bar{v}_{targ} 、主车辆30的速度界限 \bar{v}_{host} 、主车辆30的横摆率界限 \bar{w}_{host} 和/或默认初始化值 σ_{xtarg} 、 σ_{ytarg} 、 σ_{vtarg} 、 σ_{vhost} 以及 $\sigma_{w_{host}}$ 。

[0051] 如果在决定框205中质量测量值Q高于质量阈值 Q_{th} ,则控制器34执行利用目标路径预测来操作主车辆30的示例性过程600,如图6中所示以及下面所述。在过程600之后,过程200结束。

[0052] 图3为举例说明基于目标路径预测的质量来禁用主车辆30的特征的示例性过程300的流程图。过程300可例如由主车辆30中的控制器34来执行。过程300开始于执行运行确定目标路径预测的质量的测试的示例性过程400,如图4中所示以及下面描述。过程400将目标路径预测的质量测量值Q送回到控制器34。

[0053] 接下来,在接收到来自过程400的输入之后,在决定框305中,控制器34确定质量测量值Q是否高于质量阈值 Q_{th} ,如上面关于决定框205所描述的。

[0054] 如果质量测量值Q不高于质量阈值 Q_{th} ,则接下来在框310中控制器34基于质量测量值Q来禁用依赖误差界限 ϵ (下面关于过程500的框525所描述的)的特征。可能依赖误差界限 ϵ 的特征可包括主车辆30的自主或半自主操作(亦即,转向系统40、推进器42以及制动器44中的一个或多个的操作(例如自动化制动或自动化转向))。可能依赖误差界限 ϵ 的其他特征可包括可预期主车辆30的移动的特征(例如,自动转动前照灯)。

[0055] 如果在决定框305中质量测量值Q高于质量阈值 Q_{th} ,则控制器34执行利用目标路径预测来操作主车辆30的示例性过程600,如图6中所示以及下面描述。在过程600之后,过程300结束。

[0056] 图4为举例说明运行确定目标路径预测的质量的测试的示例性过程400的流程图。过程400开始于框405,在框405中,控制器34将指数值k初始化为1。指数值k计数每段持续时间中等于测试运行时限 T_M 的测试运行的次数。

[0057] 接下来,在框410中,控制器34执行第k次测试运行。执行测试运行涉及驾驶主车辆30一段持续时间 T_M ,该持续时间 T_M 是从初始时刻 t_0 到结束时刻 t_0+T_M 。驾驶主车辆30可由控制器34自主执行,由控制器34和人类驾驶员半自主执行,或者由人类驾驶员手动执行。框410开始K次测试运行的框410与框430之间的试验周期。测试运行的次数K为预设或用户规定的值,并且可以被选择例如以提供一段足够的时间来收集统计学上有用的数据集,如下所述。

[0058] 接下来,在测试运行期间,在框415中,控制器34测量主车辆30和目标车辆32的一组运动变量。该运动变量可在已知的坐标系(例如目标对地坐标系、以主车辆为中心的坐标系或者任何其他适合的坐标系)中测量,并且该运动变量可在进一步使用之前从一个坐标系变换到另一个坐标系。例如,控制器34可测量在如下对地坐标中的该组运动变量:

$$[0059] \quad \{X_{targ}^M(t), Y_{targ}^M(t), \psi_{targ}^M(t), v_{targ}^M(t), a_{targ}^M(t)\}_{t_0 \leq t \leq t_0 + T_M}$$

$$[0060] \quad \{X_{host}^M(t), Y_{host}^M(t), \psi_{host}^M(t), v_{host}^M(t), a_{host}^M(t)\}_{t_0 \leq t \leq t_0 + T_M}$$

[0061] 其中,下标host表示与主车辆30相关的变量,下标targ表示与目标车辆32相关的变量,上标M表示测量的变量,X表示对地X坐标,Y表示对地Y坐标, ψ 表示对地方位角,v表示速度,以及a表示加速度。然后,对地运动变量可变换成以主车辆为中心的坐标系:

$$[0062] \quad \{x_{targ}^M(t), y_{targ}^M(t), v_{targ}^M(t), a_{targ}^M(t), w_{host}^M(t), v_{host}^M(t), a_{host}^M(t), \alpha^M(t)\}_{t_0 \leq t \leq t_0 + T_M}$$

[0063] 其中x表示相对于主车辆30的横向位置,亦即,以主车辆为中心的X坐标;y表示相对于主车辆30的纵向位置,亦即,以主车辆为中心的Y坐标;w表示横摆率;以及 α 表示主车辆30与目标车辆32之间的相对方位角。图7中示出了以主车辆为中心的坐标系中的运动变量。随着主车辆30移动以及随着目标车辆32沿着实际路径A移动,持续记录该运动变量。

[0064] 接下来,在测试运行期间,在框420中,控制器34利用二次多项式方法生成系数以计算目标车辆32在未来时间的预测位置。预测路径P为固定在时间t的以主车辆为中心的坐标系中的目标车辆32的一系列预测位置,依照如下二阶多项式来估算预测路径P:

$$[0065] \quad x_{targ}^P = a_0(t) + a_1(t) * y_{targ}^P + a_2(t) * (y_{targ}^P)^2$$

[0066] 其中上标P表示预测变量;以及 $a_0(t)$ 、 $a_1(t)$ 及 $a_2(t)$ 为通过已知的二次多项式方法生成的系数。可利用除了二次多项式方法之外的另一种目标路径预测方法(例如基于卡尔曼滤波的运动预测方法)。

[0067] 接下来,在测试运行期间,控制器34执行确定测试运行期间的目标路径预测的质量的示例性过程500,如图5中所示以及下面所述。过程500将测试运行期间的目标路径预测的质量测量值 Q_{test} 送回到控制器34。

[0068] 接下来,在接收到来自过程500的输入之后,在框425中,控制器34将指数值k增加1,因此指数值k等于k+1。

[0069] 接下来,在决定框430中,控制器34确定指数值k是否已经达到或超过了测试运行的次数K。如果指数值k仍然低于测试运行的次数K,则过程400继续返回到框410,并且控制器34利用来自框425的更新指数值k执行框410到框430的试验周期的另一个循环。

[0070] 如果指数值k大于或等于测试运行的次数K,则接下来在框435中控制器34计算质量测量值Q,质量测量值Q等于在1和误差界限 ϵ 和误差量度 δ 的比值中的较小值在试验期间的最小值,如下面关于过程500所描述的。换言之,控制器34计算最低的最小分项质量测量值 Q_{test} :

$$[0071] \quad Q = \min_{k \in [1, K]} Q_{test}$$

[0072] 在框435之后,过程400结束。

[0073] 图5为举例说明确定测试运行期间的目标路径预测的质量的示例性过程500的流程图。过程500开始于框505,在框505中,控制器34将时间变量t初始化为初始值 t_0 。

[0074] 接下来,在框510中,控制器34将预测时间变量s初始化为时间变量t的值。时间变量t跟踪当前时间,并且预测时间变量s跟踪未来的预测时间。框510在等于测试运行时限 T_M 的持续时间内开始框510与框550之间的测试运行周期。测试运行时限 T_M 为预设值,并且可以被选择例如以提供一段足够的时间来收集统计学上有用的数据集,如下所述。

[0075] 接下来,在框515中,控制器34计算目标车辆32在未来时间s的预测位置 $(x_{targ}^P(s), y_{targ}^P(s))$ 。控制器34可利用已知方法(包括利用上面所确定的系数的二次多项式

方法)。例如,控制器34可利用这组方程式:

$$[0076] \quad x_{targ}^P(s) = a_0(t) + a_1(t) * y_{targ}^P(s) + a_2(t) * (y_{targ}^P(s))^2$$

$$[0077] \quad y_{targ}^P(s) = y_{targ}^M(t) + v_{targ}^M(t) * \sin(\alpha^M(t) + \frac{\pi}{2}) * (s-t) + \frac{1}{2} a_{targ}^M(t) * \sin(\alpha^M(t) + \frac{\pi}{2}) * (s-t)^2$$

[0078] 可替代地,控制器34可仅计算相对于主车辆30的预测横向位置 $x_{targ}^P(s)$ 。框515在等于预测时限 T_p 的持续时间内开始框515与框540之间的预测周期。预测时限 T_p 为预设值,并且可取决于例如传感器36的灵敏度或者控制器34的处理速度。

[0079] 接下来,在框520中,控制器34计算误差量度 δ ,误差量度 δ 等于预测位置与在目标车辆32的未来时间横向相对于主车辆30的当前位置和取向的测量位置的差的绝对值,如以下方程式中所述:

$$[0080] \quad \delta(t, s) = |x_{targ}^M(s) - x_{targ}^P(s)|$$

[0081] 如果利用二次多项式方法,则误差量度 δ 变为:

$$[0082] \quad \delta(t, s) = \left| x_{targ}^M(s) - \left(a_0(t) + a_1(t) * y_{targ}^M(s) + a_2(t) * (y_{targ}^M(s))^2 \right) \right|$$

[0083] 在误差量度 δ 的两个方程式中,在固定在时间 t 的以主车辆为中心的坐标系中的预测时间 s 测量该测量位置 $(x_{targ}^M(s), y_{targ}^M(s))$ 。

[0084] 接下来,在框525中,控制器34基于目标车辆32的当前位置和速度以及未来时间来计算预测位置的置信区间的误差界限 ϵ ,该预测位置为在该未来时间的目标车辆32横向相对于主车辆30在当前时间的当前位置和取向的位置。目标车辆32的“横向相对于”主车辆30的位置的位置指的是相对于主车辆30的横向位置 x ,亦即以主车辆为中心的X坐标。误差界限可进一步基于主车辆30的当前速度和横摆率以及主车辆30和目标车辆32之间的相对方位角。误差界限 ϵ 与未来时间 s 可具有线性关系。误差界限 ϵ 可从该方程式确定:

$$[0085] \quad \epsilon(t, s) = b(t) * (s-t) + c(t)$$

[0086] 其中 $b(t)$ 和 $c(t)$ 为误差界限 ϵ 的控制变量。控制变量 $b(t)$ 和 $c(t)$ 可从利用运动变量作为输入的这些方程式确定:

$$[0087] \quad b(t) = \frac{1}{1 + \cos(\alpha^M(t))} * \left(\frac{|x_{targ}^M(t)| + \sigma_{x_{targ}}}{\bar{x}_{targ}} \right) * \left(\frac{|y_{targ}^M(t)| + \sigma_{y_{targ}}}{\bar{y}_{targ}} \right) * \left(\frac{|v_{targ}^M(t)| + \sigma_{v_{targ}}}{\bar{v}_{targ}} \right) * \left(\frac{|v_{host}^M(t)| + \sigma_{v_{host}}}{\bar{v}_{host}} \right) * \left(\frac{|w_{host}^M(t)| + \sigma_{w_{host}}}{\bar{w}_{host}} \right)$$

$$[0088] \quad c(t) = \frac{\sqrt{(x_{targ}^M(t))^2 + (y_{targ}^M(t))^2}}{\bar{b}}$$

[0089] 其中 ϵ 为误差界限; t 为当前时间; s 为未来时间; $(x_{targ}^M(t), y_{targ}^M(t))$ 为目标车辆32在以主车辆为中心的坐标系中的当前位置; $v_{targ}^M(t)$ 为目标车辆32的当前速度; $v_{host}^M(t)$ 为主车辆30的当前速度; $w_{host}^M(t)$ 为主车辆30的当前横摆率; $\alpha^M(t)$ 为主车辆30和目标车辆32

之间的相对方位角; \bar{x}_{targ} 为目标车辆32的横向偏移界限; \bar{y}_{targ} 为目标车辆32的纵向偏移界限; \bar{b} 为目标车辆32的位置界限; \bar{v}_{targ} 为目标车辆32的速度界限; \bar{v}_{host} 为主车辆30的速度界限; \bar{w}_{host} 为主车辆30的横摆率界限; 以及 σ_{xtarg} 、 σ_{ytarg} 、 σ_{vtarg} 、 σ_{vhost} 及 $\sigma_{w_{host}}$ 为默认初始化值。如上述方程式中所计算的, 误差界限 ε 仅基于由目标车辆32的当前位置和速度、未来时间、主车辆30的当前速度和横摆率以及主车辆30和目标车辆32之间的相对方位角构成的输入。

[0090] 接下来, 在框530中, 控制器34计算预测时间 s 内的分项质量测量值 Q_{item} 。分项质量测量值 Q_{item} 等于1和误差界限 ε 与误差量度 δ 的比值中的较小值; 换言之, 如果误差界限 ε 至少与误差量度 δ 一样大, 则分项质量测量值 Q_{item} 等于1:

$$[0091] \quad Q_{item}(t, s) = \begin{cases} 1 & \text{if } \delta(t, s) \leq \varepsilon(t, s) \\ \frac{\varepsilon(t, s)}{\delta(t, s)} & \text{否则} \end{cases}$$

[0092] 接下来, 在框535中, 控制器34将预测时间 s 增加一增加的预测时间步长 Δt_p 。换言之, 预测时间 s 变为 $s + \Delta t_p$ 。增加的预测时间步长 Δt_p 为预测周期的每个循环的持续时间的预设值。增加的预测时间步长 Δt_p 可取决于例如传感器36的灵敏度或者控制器34的处理速度。

[0093] 接下来, 在决定框540中, 控制器34确定预测周期是否还没有达到预测时限 T_p 。换言之, 控制器34确定预测时间 s 是否小于或等于 $t + T_p$ 。如果预测时间 s 小于或等于 $t + T_p$, 则过程500继续返回到框515, 并且控制器34利用相同时间 t 和来自框535的更新预测时间 s 执行框515到框540的预测周期的另一个循环。

[0094] 如果预测时间 s 大于 $t + T_p$, 则接下来在框545中控制器34将时间 t 增加该增加的时间步长 Δt_M 。换言之, 时间 t 变为 $t + \Delta t_M$ 。增加的预测时间步长 Δt_M 为测试运行周期的每个循环的持续时间的预设值。增加的预测时间步长 Δt_M 可取决于例如传感器36的灵敏度或者控制器34的处理速度。

[0095] 接下来, 在决定框550中, 控制器34确定测试运行周期是否还没有达到测试运行时限 T_M 。换言之, 控制器34确定时间 t 是否小于或等于 $t_0 + T_M$ 。如果时间 t 小于或等于 $t_0 + T_M$, 则该过程继续返回到框510, 并且控制器34利用来自框545的更新时间 t 执行框510到框550的测试运行周期的另一个循环。

[0096] 如果时间 t 大于 $t_0 + T_M$, 则接下来在框555中控制器34计算最小分项质量测量值 Q_{test} , 最小分项质量测量值 Q_{test} 为测试运行内的最低分项质量测量值 Q_{item} :

$$[0097] \quad Q_{test} = \min_{t \in [0, t + T_M]} \left(\min_{s \in [t, t + T_p]} Q_{item}(t, s) \right)$$

[0098] 在框555之后, 过程500结束。

[0099] 图6为举例说明利用目标路径预测来运行主车辆30的示例性过程600的流程图。过程600开始于框605。如上面关于框415所描述的, 控制器34测量主车辆30和目标车辆32的一组运动变量。

[0100] 接下来, 在框610中, 控制器34利用二次多项式方法来生成系数以计算目标车辆32在未来时间的预测位置, 如关于框420所描述的。

[0101] 接下来,在框615中,控制器34将预测时间s初始化为时间t的值。

[0102] 接下来,在框620中,控制器34计算目标车辆32在未来时间s的预测位置 $(x_{targ}^P(s), y_{targ}^P(s))$,如上面关于框515所描述的。

[0103] 接下来,在框625中,控制器34计算预测位置 $(x_{targ}^P(s), y_{targ}^P(s))$ 的置信区间的误差界限 ϵ ,该预测位置为在该未来时间s的目标车辆32横向相对于主车辆30在当前时间的当前位置和取向的位置,如上面关于框525所描述的。

[0104] 接下来,在框630中,控制器34计算在未来时间s的有误差界限的预测位置 $(x_{targ}^{P,err}(s), y_{targ}^{P,err}(s))$ 。具体地,控制器34可将误差界限 ϵ 应用于相对于主车辆30的横向预测位置 $x_{targ}^P(s)$ 。有误差界限的预测位置由这些方程式给出:

$$[0105] \quad \begin{cases} x_{targ}^{P,err}(s) = x_{targ}^P(s) \pm \epsilon(t, s) \\ y_{targ}^{P,err}(s) = y_{targ}^P(s) \end{cases}$$

[0106] 接下来,在框635中,控制器34基于有误差界限的预测位置(亦即基于预测位置和误差界限)来确定执行驾驶主车辆30的自主操作。“自主操作”为转向系统40、推进器42以及制动器44中的一个或多个一经控制器34指示即做出的动作(例如,以给定的力在一段给定的时间内激活制动器44,将转向角度改变给定的度数等)。具体地,如果主车辆30可穿过由有误差界限的预测位置规定的区域,则控制器34可基于预测位置和误差界限来控制车辆子系统以躲避目标车辆32。车辆子系统包括例如转向系统40、推进器42以及制动器44。控制车辆子系统可包括使转向系统40转向、指示推进器42加速和/或指示制动器44制动。

[0107] 接下来,在框640中,控制器34将预测时间s增加该增加的预测时间步长 Δt_p ,如上面关于框535所描述的。

[0108] 接下来,在决定框645中,控制器34确定预测周期是否还没有达到预测时限 T_p 。换言之,控制器34确定预测时间s是否小于或等于 $t+T_p$ 。如果预测时间s小于或等于 $t+T_p$,则过程600继续返回到框620,并且控制器34利用相同时间t和来自框640的更新预测时间s执行框620到框645的另一个循环。如果预测时间s大于 $t+T_p$,则过程600结束。

[0109] 通常,所述的计算系统和/或装置可采用任意数量的计算机操作系统,计算机系统包括但决不限于各种版本和/或各种变体的福特同步(Ford Sync®)应用程序、应用程序链接/智能设备链接中间件(AppLink/Smart Device Link middleware)、微软汽车(Microsoft Automotive®)操作系统、微软 Windows® (Microsoft Windows®) 操作系统、Unix操作系统(例如,由加利福尼亚州的红木海岸甲骨文公司发行的 Solaris® 操作系统)、由纽约阿蒙克IBM发行的AIX UNIX操作系统、Linux操作系统、由加利福尼亚州库比蒂诺的苹果公司发行的Mac OSX以及iOS操作系统、由加拿大滑铁卢黑莓公司发行的黑莓OS以及由谷歌公司和开放手机联盟开发的Android操作系统,或者由QNX软件系统公司提供的 QNX® CAR信息娱乐平台。计算装置的示例包括但不限于车载计算机、计算机工作站、服务器、桌面、笔记本电脑、便携式电脑或掌上电脑或一些其他的计算系统和/或装置。

[0110] 计算装置通常包括计算机可执行指令,其中该指令可以由一个或多个计算装置

(例如上面所列的那些)执行。计算机可执行指令可以由计算机程序编译或解释,计算机程序采用多种编程语言和/或技术创建,这些编程语言和/或技术包括但不限于单独的或组合的Java™、C、C++、Matlab、Simulink、Stateflow、Visual Basic、Java Script、Perl、HTML等。这些应用程序中的一些可在虚拟机(例如Java虚拟机、Dalvik虚拟机等)上编译和执行。通常,处理器(例如,微处理器)例如从存储器、计算机可读介质等接收指令,并且执行这些指令,由此完成一个或多个过程,包括这里所描述的一个或多个过程。这样的指令和其他数据可以采用各种计算机可读介质存储和传送。计算装置中的文件通常为存储在计算机可读介质(例如存储介质、随机存取存储器等)上的数据的集合。

[0111] 计算机可读介质(也称为处理器可读介质)包括参与提供数据(例如,指令)的任意非暂时性的(例如,有形的)介质,该数据可以由计算机(例如,由计算机的处理器)读取。这样的介质可以采用多种形式,包括但不限于非易失性介质和易失性介质。非易失性介质可以包括例如光盘或磁盘以及其他永久性存储器。易失性介质可以包括例如一般构成主存储器的动态随机存取存储器(dynamic random access memory, DRAM)。这样的指令可以通过一种或多种传输介质传输,一种或多种传输介质包括同轴电缆、铜线和光纤,包括内部包含耦接于ECU(Electronic Control Unit,电子控制单元)的处理器系统总线的线缆。计算机可读介质的常规形式包括例如软盘、柔性盘、硬盘、磁带、任何其他磁性介质、光盘只读存储器(Compact Disc Read-Only Memory, CD-ROM)、数字化视频光盘(Digital Video Disk, DVD)、任何其他光学介质、穿孔卡片、纸带、具有孔图案的任何其他物理介质、随机存取存储器(Random-Access Memory, RAM)、可编程只读存储器(Programmable Read-Only Memory, PROM)、可擦除可编程只读存储器(Erasable Programmable Read-Only Memory, EPROM)、闪速电可擦除可编程只读存储器(Flash Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, FLASH-EEPROM)、任何其他存储器芯片或盒,或者任何其他计算机可读的介质。

[0112] 数据库、数据存储库或本文所描述的其他数据存储可以包括用于存储、访问和检索各种数据的各种机构,该机构包括分层数据库、文件系统中的文件组、具有专有格式的应用数据库、关系数据库管理系统(relational database management system, RDBMS)等。每一个这样的数据存储通常包括在采用了例如上述之一的计算机操作系统的计算装置内,并且通过网络以任意一种或多种方式被访问。文件系统可以从计算机操作系统访问,并且可包括以各种格式存储的文件。除了用于创建、存储、编辑以及执行存储的程序的语言,RDBMS通常采用结构化查询语言(Structured Query Language, SQL),例如前面所述的过程化SQL(PL/SQL)语言。

[0113] 在一些示例中,系统元件可实施为一个或多个计算装置(例如,服务器、个人计算机等)上的计算机可读指令(例如软件),该指令存储在与此相关的计算机可读介质(例如,盘、存储器等)上。计算机程序产品可以包括存储于计算机可读介质上用于执行本文所述功能的该指令。

[0114] 在附图中,相同的附图标记表示相同的元件。进一步地,可以改变这些元件中的一些或全部。关于这里所述的介质、过程、系统、方法、启发等,应理解的是,虽然这样的过程等的步骤描述为按照一定的顺序排列发生,但这样的过程可以采用以这里描述的顺序之外的顺序执行的所述步骤来实施。进一步应该理解的是,某些步骤可以同时执行,可以添加其他步骤,或者可以省略这里所述的某些步骤。换言之,这里提供的过程描述是用于举例说明某

些实施例的目的,并且决不应该解释成限制权利要求。

[0115] 因此,应理解的是上面的描述意在举例说明而不是限制。在阅读上面的描述时,除了提供的示例外许多实施例和应用对本领域的技术人员而言都是显而易见的。本发明的范围应参照所附权利要求连同与权利要求所要求的权利等效的全部范围而确定,而不是参照上面的说明而确定。可以预期和计划的是这里所讨论的技术将出现进一步的发展,并且所公开的系统和方法将可以结合到这样的进一步实施例中。总之,应理解的是本发明能够做出修改和变化并且仅受到如下权利要求的限制。

[0116] 在权利要求中所使用的所有术语旨在给予其被本领域的技术人员理解为其清楚的并且常用的意思,除非在这里做出了明确的相反的指示。特别地,单数冠词(例如“一”、“该”、“所述”等)的使用应该理解为表述一个或多个所示元件,除非权利要求作出了与此相反明确限制。

[0117] 已经以说明性的方式描述了本公开,并且应当理解的是,已经使用的术语旨在具有说明性而不是限制性的文字的性质。根据上述教导,可对本公开做出许多修改和变化,并且本公开可以以不同于具体描述的方式实施。

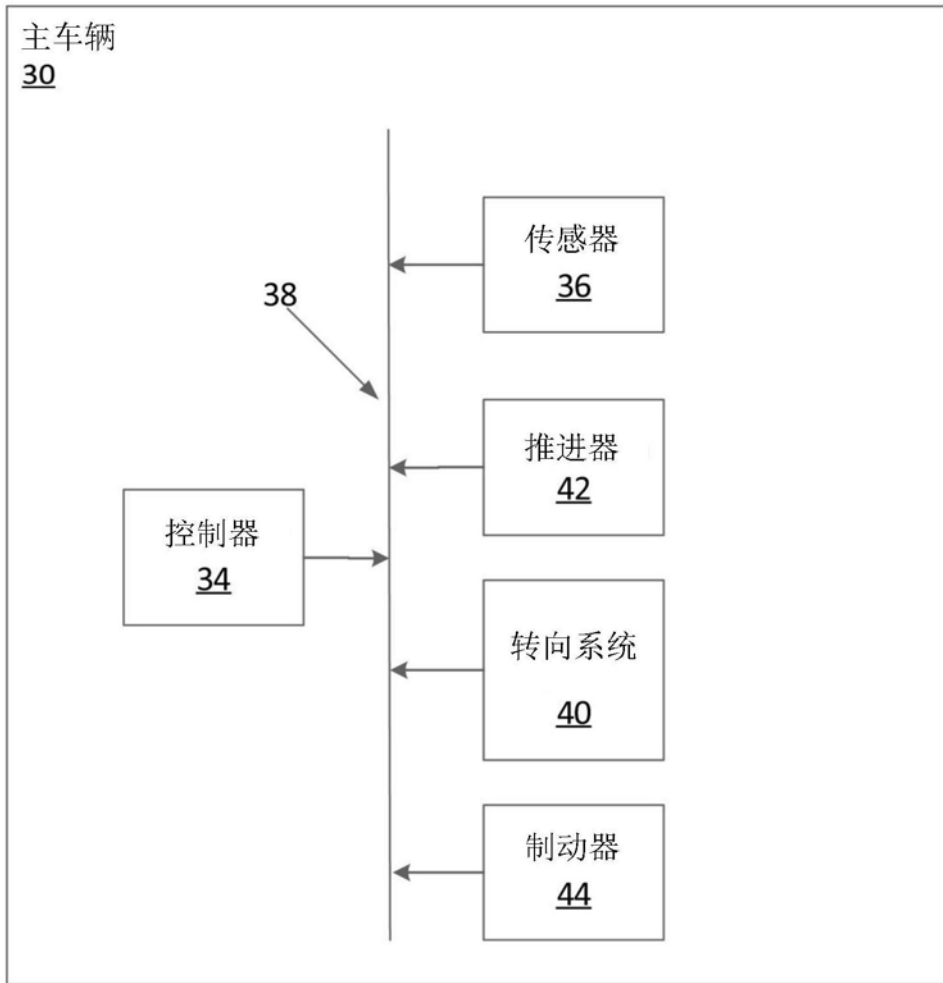


图1

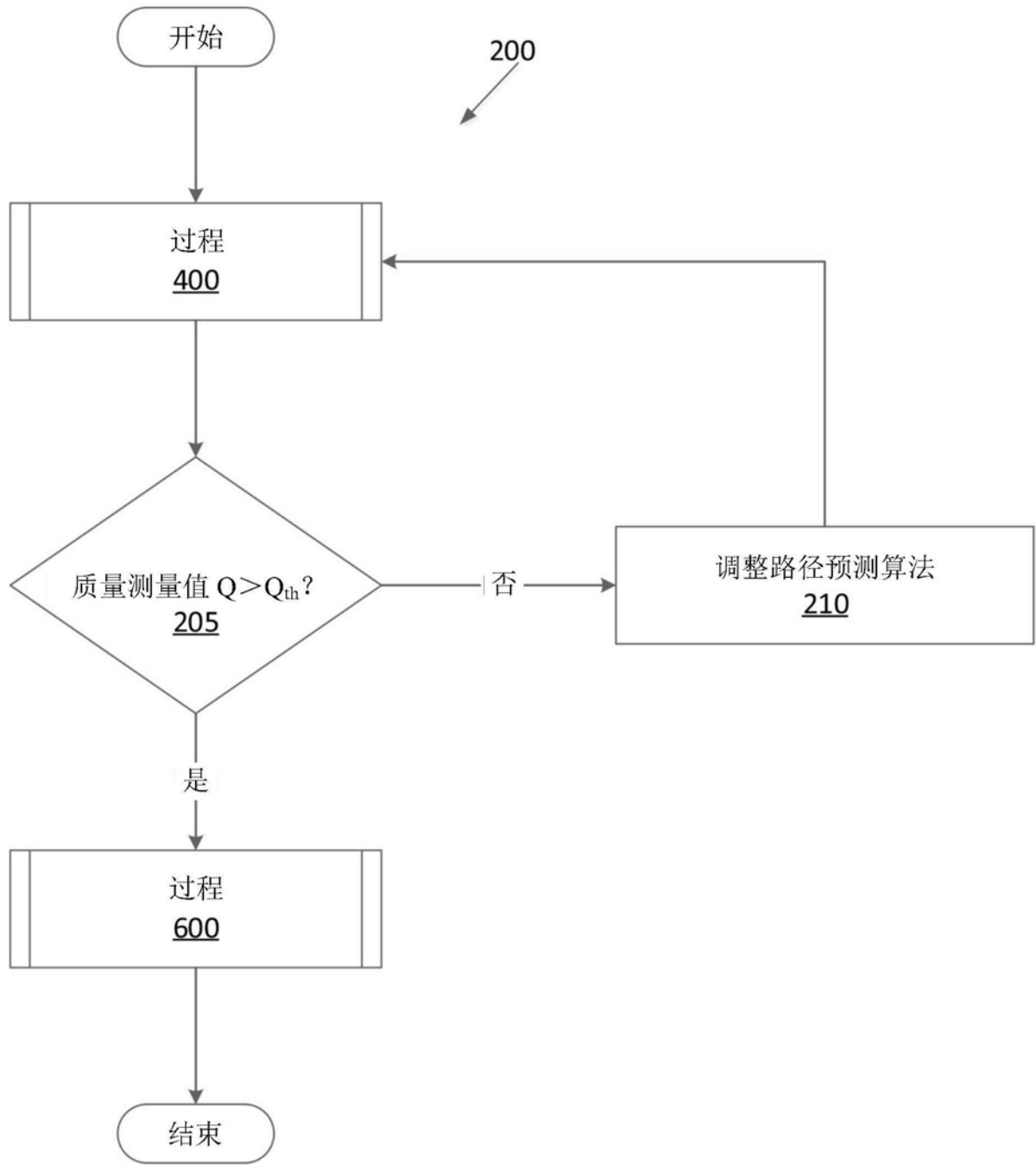


图2

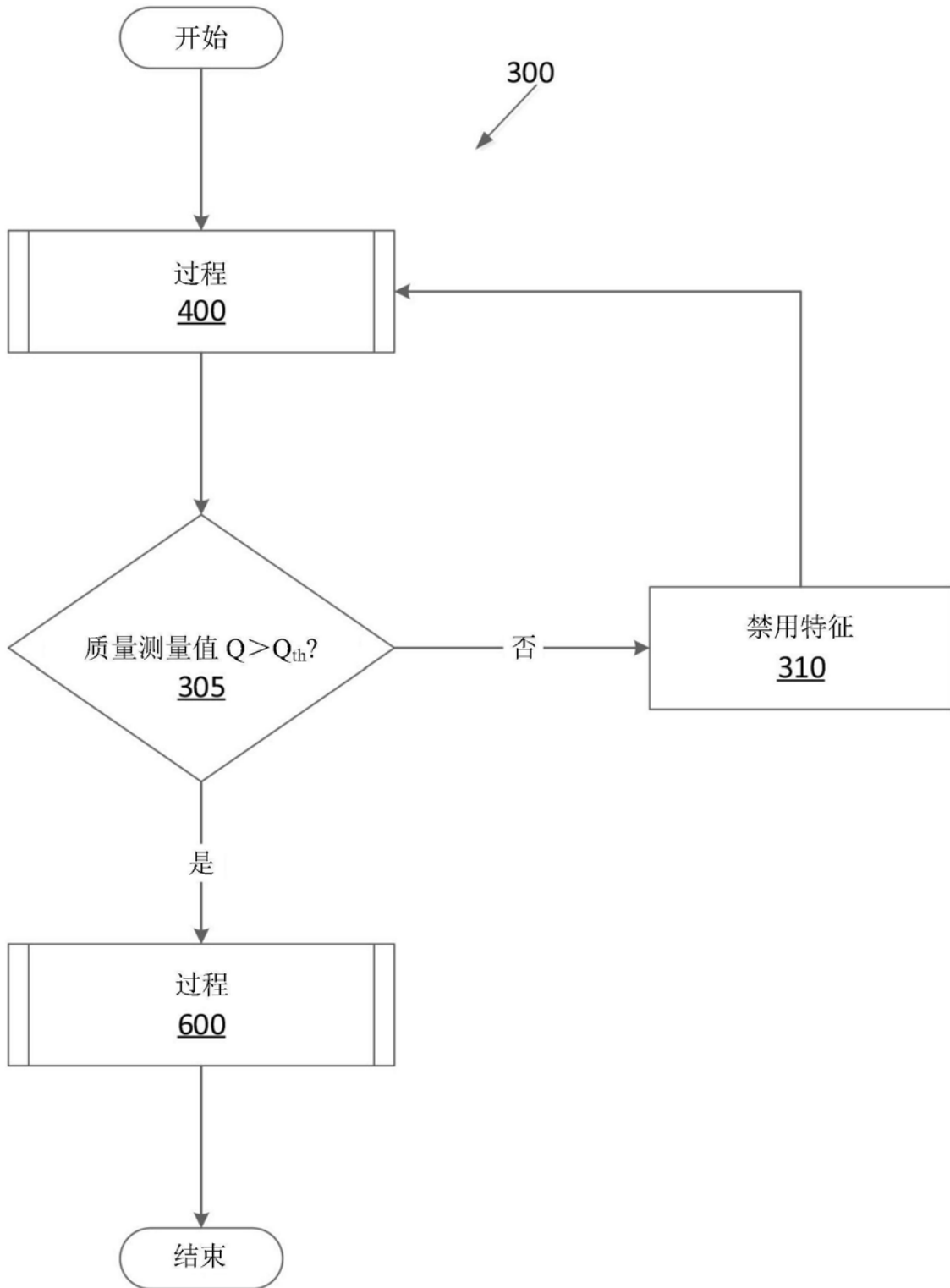


图3

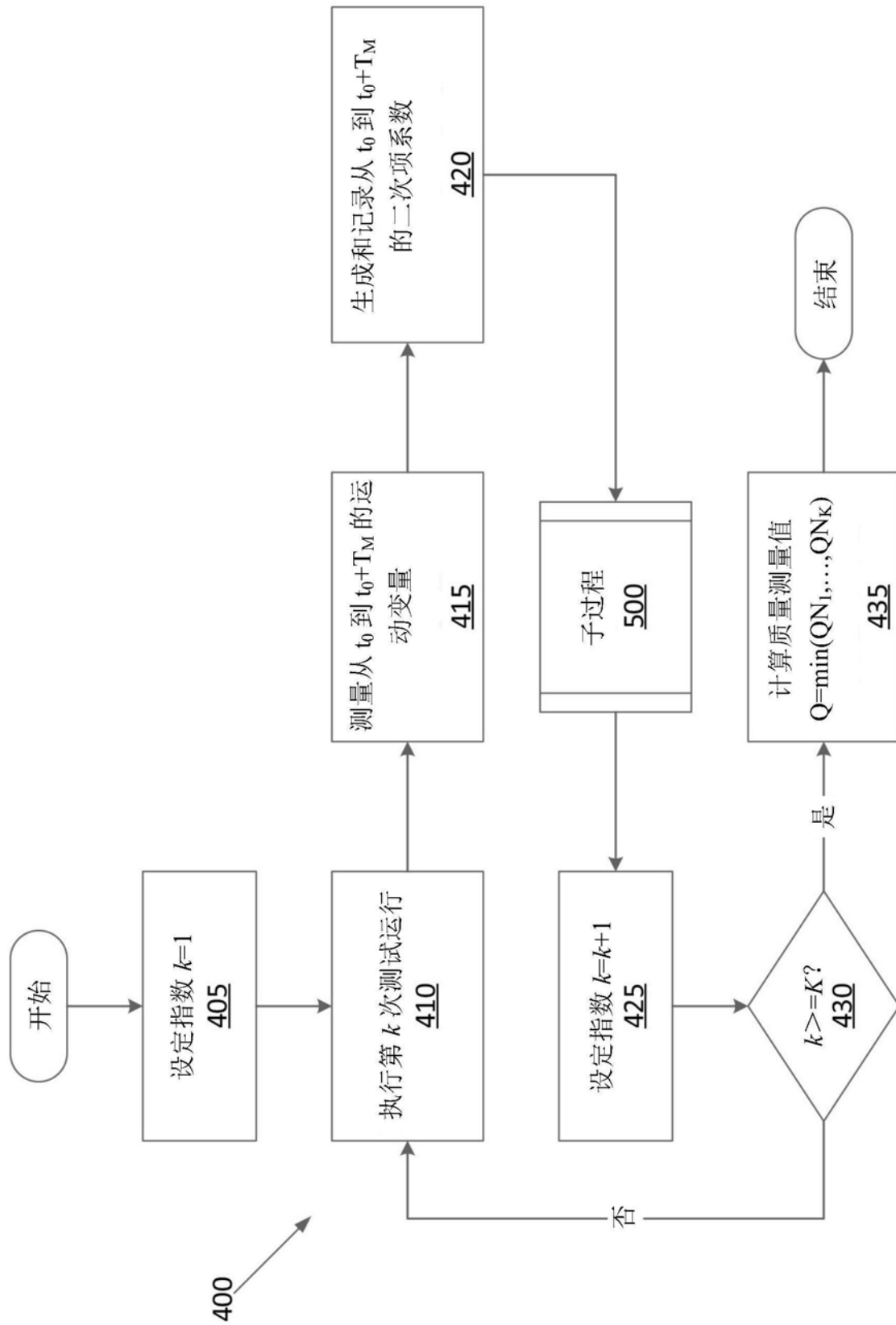


图4

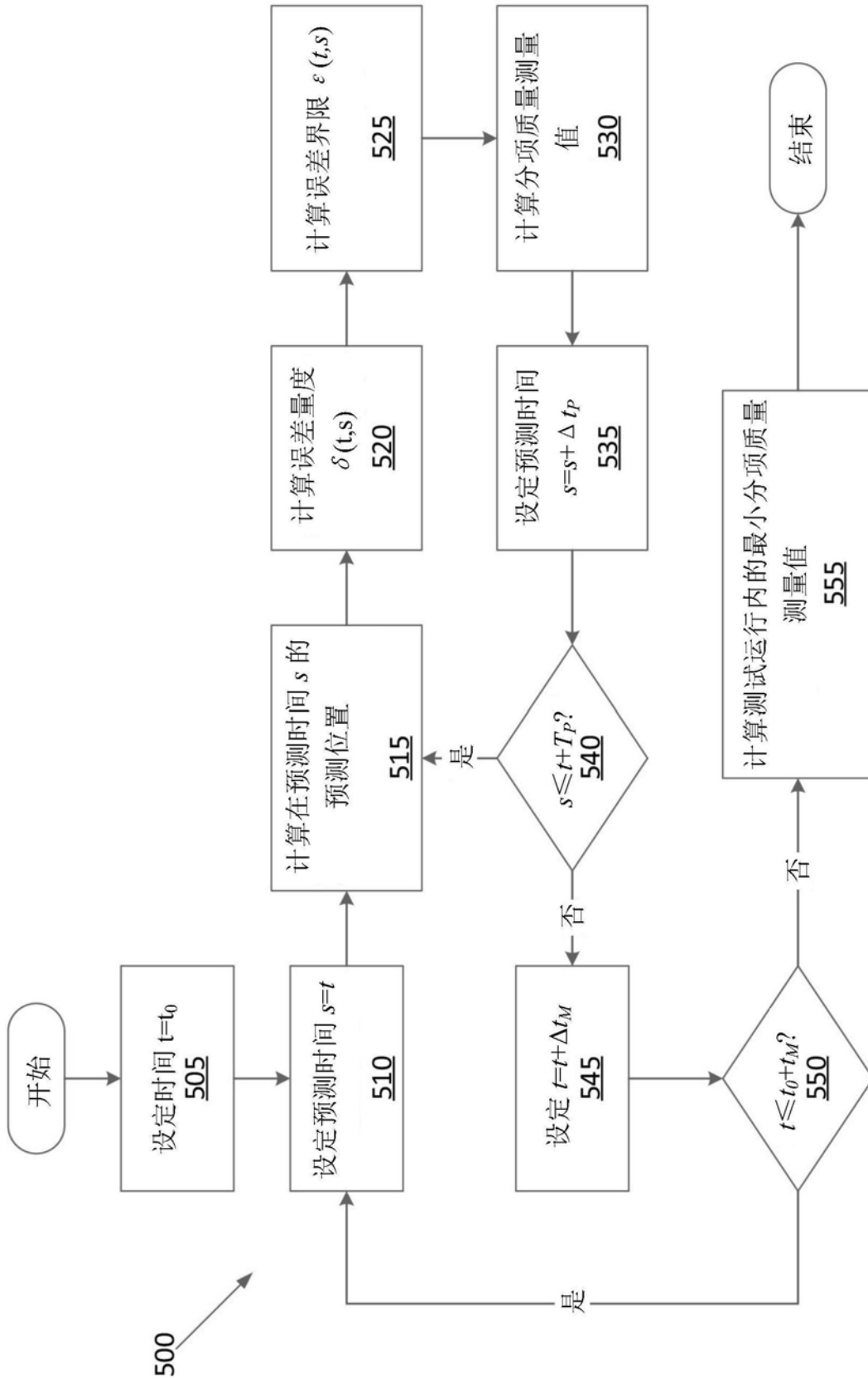


图5

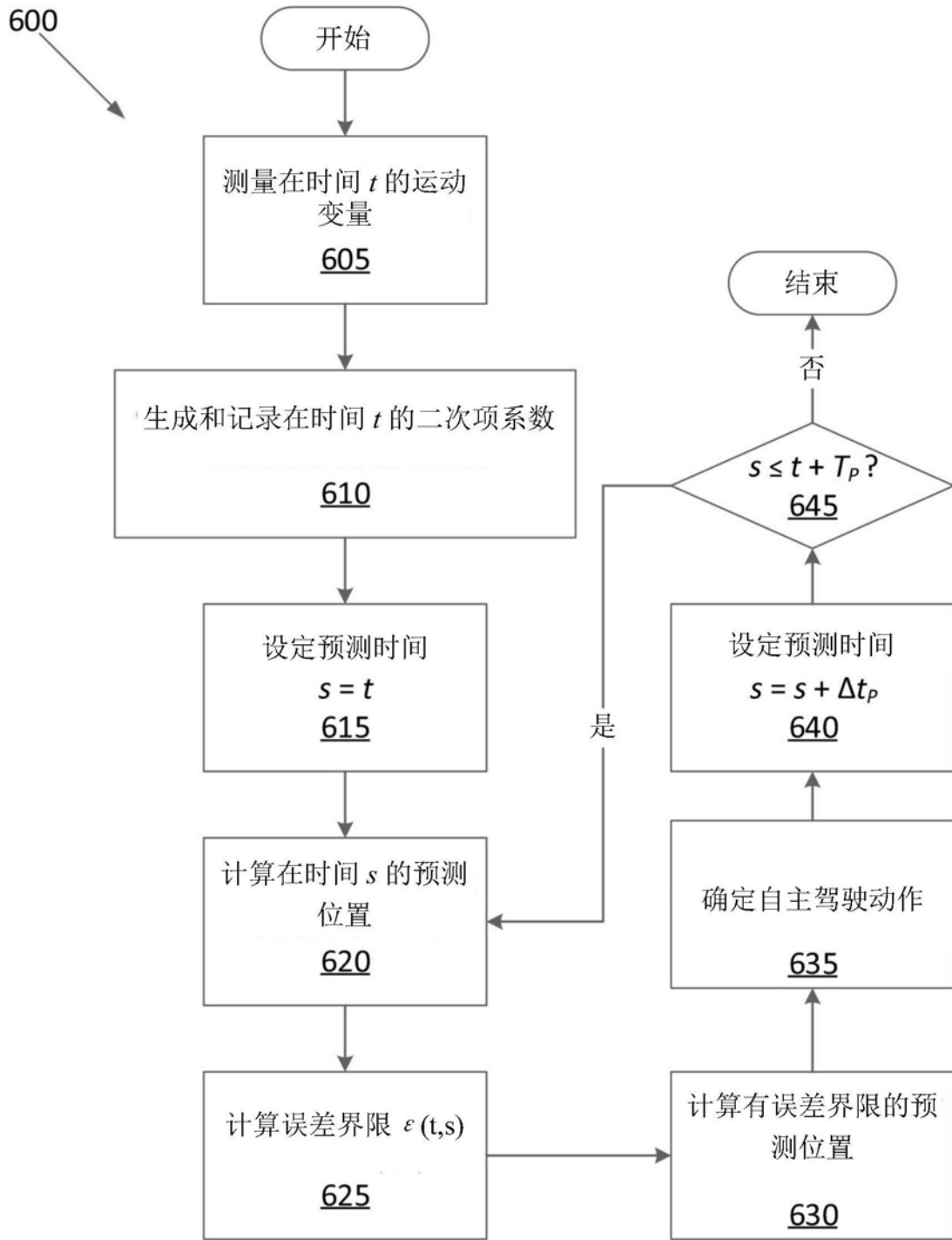


图6

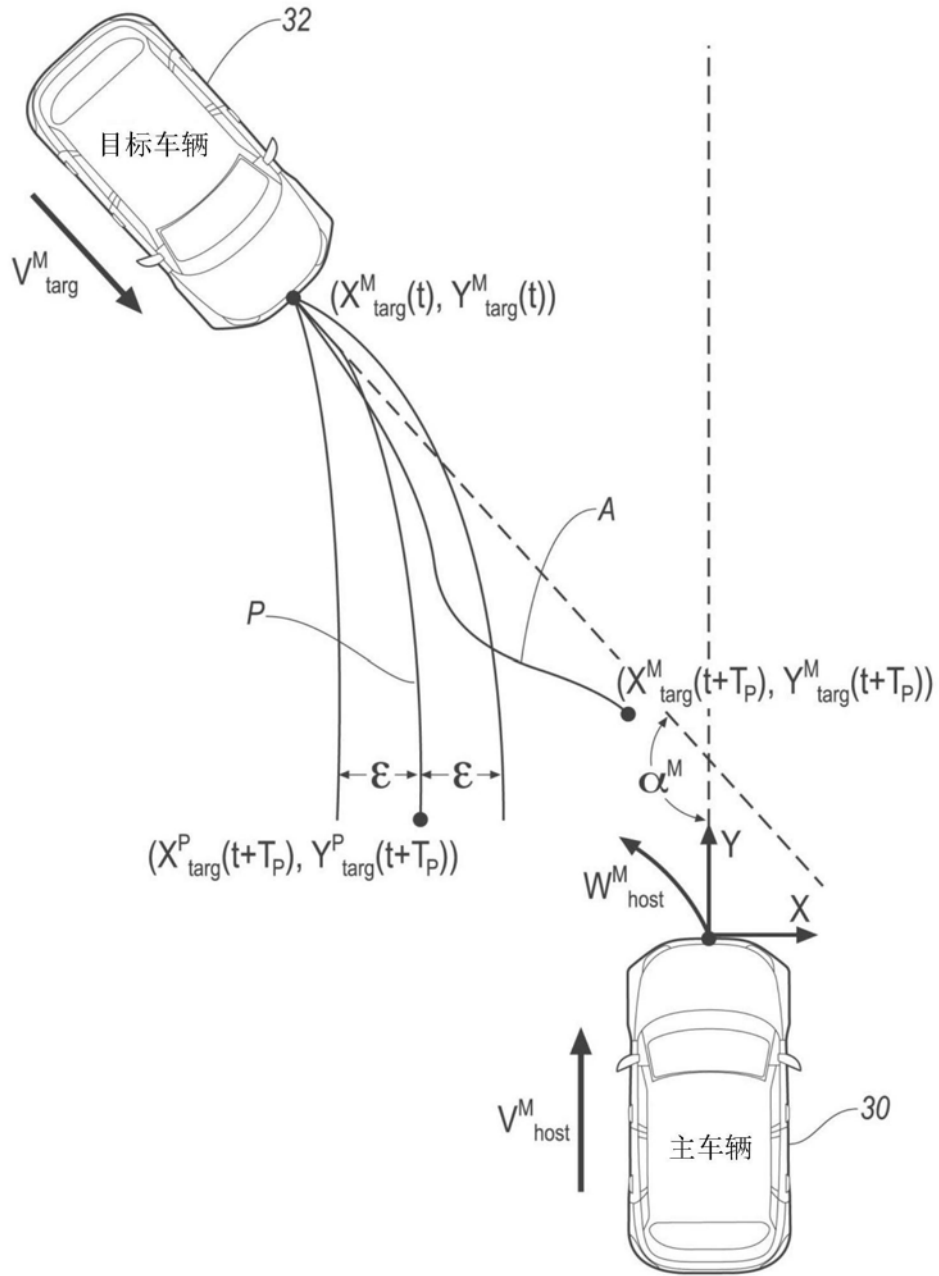


图7