



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115151462 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 04

(21) 申请号 202080087291.6

A · J · 凯利

(22) 申请日 2020.10.15

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

(30) 优先权数据

专利代理师 浩路 周学斌

62/915795 2019.10.16 US

62/915808 2019.10.16 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(51) Int.Cl.

2022.06.16

B60W 30/12 (2020.01)

B60W 30/165 (2020.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

B60W 30/18 (2012.01)

PCT/US2020/055681 2020.10.15

G05D 1/02 (2020.01)

G05D 1/12 (2006.01)

(87) PCT国际申请的公布数据

G08G 1/00 (2006.01)

W02021/076696 EN 2021.04.22

(71) 申请人 洛科梅森公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 M · D · 乔治 T · A · 梅里克利

C · A · 梅里克利 V · 拉加戈帕兰

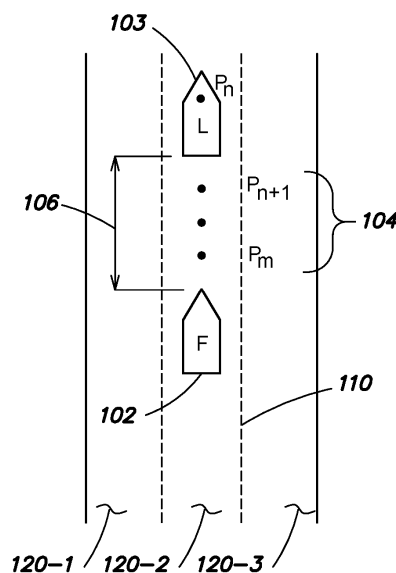
权利要求书4页 说明书15页 附图15页

(54) 发明名称

减少对自主跟随者交通工具的需求的行为

(57) 摘要

减少对车队中操作的自主交通工具的行为的需求的方法和装置,该行为诸如车道跟随或引领者互换。



1. 一种操作排中的多个交通工具的方法,所述交通工具包括引领者和跟随者,所述方法包括:

在所述跟随者处,

检测所述引领者沿着路径的一系列位置(p1、p2……pn);

控制所述跟随者的纵向位置,使得所述跟随者沿着所述路径到达与所述引领者相同的对应纵向位置;

检测所述跟随者当前占据的行驶车道的属性;

使用检测到的行驶车道属性来进一步控制所述跟随者相对于行驶车道的横向位置,而不考虑所述引领者沿着所述路径的任何检测到的横向位置

除非

所述跟随者被通知或检测到所述引领者正在偏离其相应行驶路线的条件,并且如果是这样,则

所述跟随者将其自己确切地定位在所述引领者的正后方,使得所述跟随者跟随与所述引领者完全相同的路径,包括所述引领者遵循的相同横向位置,直到所述条件不再存在。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中检测所述引领者的位置的步骤进一步包括:

使用一个或多个传感器来检测所述引领者的位置。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述条件进一步包括所述引领者正在避开障碍物。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述条件是车道改变。

5. 根据权利要求4所述的方法,进一步包括:

在所述跟随者处,

检测在所述跟随者处执行车道改变可能不安全的一个或多个车道改变条件,并且然后要么向所述引领者通知所述跟随者正在否决车道改变;

要么自主地确定不改变车道。

6. 根据权利要求4所述的方法,其中所述车道改变条件包括以下各项中的一个或多个:针对所述跟随者、所述引领者或其两者的可用行驶车道;

阻塞的交通;

侧面的干扰交通工具或其他障碍物;

从后面接近的交通;

对于所述跟随者的传感器不可见的车道标记物;或者

所述跟随者的引领者视图是清晰的或模糊的。

7. 一种操作排中的多个交通工具的方法,所述交通工具包括引领者和跟随者,所述方法包括:

在所述跟随者处,

检测所述引领者沿着路径的一系列位置(p1、p2……pn);

控制其自己的纵向位置,以便沿着所述路径到达与所述引领者相同的纵向位置;

检测行驶车道的一个或多个属性;以及

取决于条件,通过以下方式中的任一个来进一步控制其自己在该车道内的横向位置:

使用检测到的车道属性来确定所述车道内的偏移;或者

模仿所述引领者在所述车道内的横向位置。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中所述一系列位置表示所述引领者上的参考点相对于所述道路的地方;以及

当所述跟随者到达对应纵向位置时,所述跟随者进一步确保其对应参考点也处于与当所述引领者在该纵向位置处时所述引领者的对应参考点相同的横向位置中。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中所述参考点是从第一引领者的交通工具几何模型导出的。

10. 根据权利要求7所述的方法,附加地包括:

使用具有可调整的追踪距离的引领者-跟随者相对姿态来控制纵向位置。

11. 根据权利要求7所述的方法,其中所述参考点是从门到相机的相对姿态导出的。

12. 根据权利要求7所述的方法,其中所述参考点是除了所述引领者的后门上的点之外的点。

13. 根据权利要求7所述的方法,其中所述参考点是从所述引领者的图像形成模型导出的。

14. 根据权利要求7所述的方法,进一步包括:

将对距追踪姿态的距离的控制与对距所述引领者的距离的控制解耦。

15. 根据权利要求7所述的方法,进一步地,其中所述参考点是针对车轮滑移而调整的。

16. 根据权利要求7所述的方法,其中所述条件取决于以下各项中的一个或多个:

车道标记物对于所述跟随者是否是可见的;

所述引领者的位置是否是可检测的;或者

所述引领者是否正在执行车道改变。

17. 一种操作排中的多个交通工具的方法,所述交通工具包括第一引领者、跟随者和第二引领者,所述方法包括:

当第一引领者正在沿着路径行进时:

所述跟随者正在经由对第一引领者的基于传感器的位置跟踪来进一步自主地跟随第一引领者的路径,

随后,通过以下进一步的步骤来使得所述跟随者能够过渡到跟随第二引领者而不是第一引领者:

当第二引领者正在所述跟随者的传感器中的一个或多个的范围内行进时,

所述跟随者正在进一步针对先决条件进行测试,以及

当所述先决条件被满足时,所述跟随者经由对第二引领者的基于传感器的位置跟踪来开始自主地跟随另一个路径,并且停止跟随第一引领者,

使得所述跟随者在要么没有第一引领者、要么没有第二引领者要跟踪的情况下从不独自处于行进车道中;以及

检测第一引领者远离所述跟随者移动。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中由所述跟随者测试的先决条件可以包括以下各项中的任何或全部:

针对第一引领者、第二引领者或所述跟随者中的一个或多个的多个可用行进车道;

前方没有阻塞的交通;

侧面没有干扰交通工具;

没有从后面接近的交通；

对于所述跟随者的传感器可见的车道标记物；

所述跟随者是否能够检测第一引领者、第二引领者或其两者的位置；

所述跟随者的自主性级别；或者

使所述跟随者到具有第二引领者的排的授权。

19. 根据权利要求17所述的方法，附加地，其中：

当所述跟随者正在行进车道中跟随第一引领者、并且第二引领者正在移动到邻近车道中时；

然后

所述跟随者改变车道，以落在第二引领者后面；以及

所述跟随者发起对第二引领者的跟随。

20. 根据权利要求19所述的方法，其中所述跟随者或者通过检测车道标记物或者通过跟踪相应第一引领者或第二引领者来跟随第一引领者或第二引领者或其两者。

21. 根据权利要求17所述的方法，附加地，其中：

当所述跟随者正在行进路线中跟随第一引领者时；

第一引领者和所述跟随者纵向地移动以在它们之间产生间隙，但是它们足够近，以使得所述跟随者仍然能够跟随第一引领者；

第二引领者移动到所述间隙中；以及

所述跟随者发起对第二引领者的跟随，并且停止跟随第一引领者。

22. 根据权利要求17所述的方法，附加地，其中所述跟随者向第二引领者通知它现在正在跟随第二引领者，并且向第一引领者通知它已经停止跟随第一引领者。

23. 根据权利要求17所述的方法，附加地，其中第二引领者检测所述跟随者现在正在跟随第二引领者，并且第一引领者检测所述跟随者不再跟随第一引领者。

24. 根据权利要求17所述的方法，其中所述先决条件是第一引领者、第二引领者或其两者的所感测的行为。

25. 根据权利要求24所述的方法，其中所感测的行为是信号灯。

26. 根据权利要求17所述的方法，其中所述先决条件是在所述跟随者处接收到指示所述跟随者应当开始跟随第二引领者并且停止跟随第一引领者的信息。

27. 根据权利要求17所述的方法，附加地包括：

接收关于第一引领者和第二引领者中的哪一个当前正在引领所述跟随者的引领者状态信息；以及

将接收到的引领者状态信息与从所述跟随者的传感器导出的其他引领者状态信息进行比较；以及

向第一和第二引领者中的一个或两者通知这种状态信息中的任何不一致。

28. 根据权利要求17所述的方法，附加地包括：

确定与第二引领者的路径的横向偏移，并且生成用于所述跟随者的校正轨迹，所述校正轨迹使得所述跟随者会聚到第二引领者的路径上；或者

确定至所述跟随者的路径的偏移，所述偏移取决于所述跟随者与第二引领者之间的车道宽度或相对位置，并且其中这种偏移随时间或者随着由所述跟随者行进的距离而进一步

减小;或者

在向跟随第二引领者的过渡正在进行中时,所述跟随者进入车道跟随模式。

减少对自主跟随者交通工具的需求的行为

[0001] 对(一个或多个)相关申请的交叉引用

本专利申请要求2019年10月16日提交的序列号为62/915,795的题为“VISION-BASED FOLLOW THE LEADER LATERAL CONTROLLER”的待决美国临时申请的优先权、以及2019年10月16日提交的序列号为62/915,808的题为“REDUCING DEMAND ON AUTONOMOUS FOLLOWER VEHICLES”的共同待决美国临时申请的优先权。本申请还涉及与本申请在同一天提交的序列号为____(代理人案卷号3827-007U01)的题为“VISION-BASED FOLLOW THE LEADER LATERAL CONTROLLER”的美国专利申请。这些申请中的每一个的全部内容在此通过引用而并入。

背景技术

[0002] 本专利申请涉及减少对在车队中操作的自主交通工具的需求的方法和装置。

[0003] 多年来,研究者和交通工具制造商一直在开发自动驾驶技术。商业卡车运输会继续是其中自主交通工具最终将变得普及的领域之一。在一个场景中,车队前面的卡车仍然处于人类控制下,一个或多个尾随交通工具自主地跟随引领者、或者彼此跟随。传感器和/或无线连接(诸如,交通工具到交通工具无线电通信)使卡车保持意识到彼此的位置和状况,从而使得(一个或多个)自主跟随者能够对引领者的方向和速度的改变做出相应。

[0004] Soni等人在“Formation Control for a Fleet of Autonomous Ground Vehicles:A Survey”,Robotics,2018,7,67中提到了交通工具队形(formation)控制的各种益处,诸如改进的安全性、燃料效率、里程以及行进所需的时间、以及减少的道路拥堵。所观察到的是,自主交通工具必须保持在车道上,并且通过维持安全距离和速度来跟随附近的交通工具。排(platoon)队形控制的目的是确认排中的所有交通工具以相同的速度移动,同时维持期望的队形形状或几何结构,该期望的队形形状或几何结构由期望的交通工具间间距策略来规定。因此,对于自主交通工具,形成排队形需要特殊的算法、控制器、以及由纵向和横向控制组成的策略。

发明内容

[0005] 这里感兴趣的是减少对自主跟随者的需求的方法,诸如通过简化它们的自我驱动逻辑。这些可以包括:

- 在遵守车道标记物约束的同时跟随引领者的路径;
- 在车道改变或其他机动期间保持在引领者的正后方;
- 遵守所定义的引领者切换(handoff)协议;或者
- 其他行为。

[0006] 通过采用这些方法中的一个或多个,自主跟随者因此可以被示出为更安全地操作。可以基于当前状况来选择这些方法中的一个或另一个。

[0007] 在一个实施例中,减少对跟随者的需求可以涉及模仿引领者的车道偏移行为。在这种情况下,跟随者可以使用其可用的传感器视觉(诸如,激光雷达、雷达或相机)来检测引

引领者沿着路径的位置。这可以在引领者不完全直接控制跟随者的情况下(例如,不完全控制横向)或者不通过诸如无线链路将引领者的位置传送到跟随者的情况下完成。跟随者争取到达该路径上的相同位置,并且保持在与引领者相同的车道内,但是同时还进一步控制其自己在该车道内的横向位置。跟随者可以通过检测车道标记物或观察行进车道的位置的其他标记(诸如,道路边缘、新泽西式隔栏、交通锥等)来控制其在车道内的位置。因此,跟随者的车道偏移可能经常与引领者的车道偏移不完全相同。

[0008] 然而,在某些其他状况下,跟随者以不同的方式操作。当跟随者检测到(或被通知)引领者有目的地以某种方式机动(诸如,例如以偏离其行进车道、以执行车道改变或者以避开障碍物)时,这些状况可能发生。在这种情况下,跟随者然后停止尝试控制其横向位置,而是取而代之将其自己确切地定位在引领者的正后方,并且跟随完全相同的路径——包括其横向位置,使得它现在“模仿”引领者的车道中心偏移。使得跟随者尝试确切地匹配引领者的车道偏移的这种模仿一直持续,直到跟随者检测到(或被通知)该有目的的机动完成为止。

[0009] 其他实现方式可以改善该车道模仿过程。例如,跟随者可以使用位于引领者交通工具上某处的可检测点作为参考点。然后,将该参考点用作当确定引领者车道偏移时的指引(guide)。在一个方法中,当跟随者到达给定纵向位置时,它确保它自己的对应参考点最终处于与当引领者在该给定纵向位置时该引领者的对应参考点的横向位置相同的横向位置中。因此,跟随者可以确保拖车的后门(或牵引车的后轴等)的位置跟踪引领者的对应后门或(牵引车后轴等)。

[0010] 在其他实施例中,在引领者互换(swap)机动期间,对跟随者的减少需求是可能的。这里,存在至少三个交通工具,包括第一引领者(L1)、跟随者(F)和第二引领者(L2)。最初,跟随者沿着一些路径跟随引领者。在一些实施例中,该路径可以由跟随者使用其自己的传感器来检测引领者的一系列位置被导出,而无需由引领者诸如通过无线链路直接通知。稍后,通过首先针对先决条件进行测试,使得跟随者能够跟随第二引领者。如果不满足这些条件,则跟随者可以否决车道改变机动。然而,如果条件指示安全车道改变是可能的,则跟随者可以以这样的方式切换成跟随第二引领者:即,跟随者在要么没有第一引领者、要么没有第二引领者要使用其传感器来跟踪的情况下从不独自处于行进车道中。

[0011] 本文中所描述的系统的优点在于……。

附图说明

[0012] 从以下文本和附图中,本文中讨论的方法的附加新颖特征和优点是明显的,在附图中:

图1A至1C图示了沿着直线路径的车道跟随的各种状态。

[0013] 图1D、1E图示了沿着弯曲路径的车道跟随的各种状态。

[0014] 图2A至2B图示了干扰交通工具。

[0015] 图2C至2D图示了被模糊的车道标记物。

[0016] 图2E至2F图示了另一个干扰交通工具情形。

[0017] 图3A至3B图示了引领者互换。

[0018] 图3C至3D图示了另一个引领者互换。

- [0019] 图3E至3F图示了又一个引领者互换。
- [0020] 图4是实现本文中所描述的方法和装置的电子系统的框图。
- [0021] 图5A和5B是车道跟随行为的示例流程。
- [0022] 图5C是引领者互换行为的示例流程。

具体实施方式

[0023] 将注意力转到图1A,在一种示例情形下,跟随者交通工具102(也用字母“F”表示)正在跟随与引领者交通工具103(也用字母“L”表示)相同的沿着地面的路径104,同时遵守车道约束。

[0024] 引领者103和跟随者102可以均是诸如半挂车之类的交通工具,该交通工具包括牵引车、以及拖车(trailer)的牵引销(kingpin)所耦合到的第五轮(fifth wheel)。在一些实现方式中,卡车可以跟随汽车,或者反之亦然,或者汽车可以跟随汽车。位于任一个或两个交通工具的牵引车和/或拖车中的电子设备包括一个或多个传感器、通信接口、自主控制器和去往物理驱动系统的接口。

[0025] 如将结合图4更详细说明的,传感器可以包括视觉传感器,诸如相机、雷达、声纳、LIDAR,运动传感器,诸如里程表、速度计、陀螺仪和其他传感器。在其中跟随者102是半挂卡车的情况下,至少一些视觉传感器应当具有包括半挂车前方的(一个或多个)区域的视场,其他视觉传感器可以具有包括从牵引车或任何附接的拖车的每一侧横向延伸的侧面区域的视场,并且仍其他视觉传感器可以指向下方以查看道路表面和/或构成预期行进车道的区域的横向范围的车道标记物110或其他指示。跟随者102中的电子设备还可以包括一个或多个计算机,这些计算机处理从传感器接收到的数据,使用感知逻辑来确定一个或多个状况,并且然后取决于那些状况来执行自主规划器逻辑。规划器逻辑进而驱动控制逻辑,控制逻辑操作驱动系统的机械组件。驱动系统至少包括加速(或节流(throttle))、制动和转向机构,这些机构对由控制逻辑提供的电气控制输入做出响应。控制逻辑可以直接使用诸如里程表和陀螺仪之类的运动传感器来测量交通工具的运动。

[0026] 1. 跟随者跟随引领者的路径,同时还自由地遵守其自己的车道约束

继续参考图1A,跟随者102(F)接收关于引领者103(L)沿着地面已经遵循过的路径104的信息(来自引领者,或者通过本地导出它),并且跟随者(F)始终保持在该路径上。104路径可以由一系列位置 P_n, P_{n+1}, \dots, P_m 或以其他方式来定义。对跟随者102的横向控制、即对其横向于道路的相对位置(例如,其相对于车道110-1、110-2、110-3(统称为车道110)的位置)的控制也受到诸如车道标记物110所约束。

[0027] 还应当理解,横向控制与控制引领者L和跟随者F之间的间隙或物理间隙106(例如,自动巡航控制可能做的那些,通常被称为纵向控制)并不相同。交通工具车队经常强加间隙约束、或引领者103与跟随者102之间的最小距离106。这里,间隙约束可以在转弯期间被适当地定义,以准许跟随者102保持在引领者103已经经历(traverse)的相同车道中,但是至少暂时地保持在离引领者103更短的视线距离处。这可以使得跟随者102更容易遵守车道纪律(discipline),诸如通过使用视线距离来消除跟随者在越过弯道时加速并缩小与引领者的间隙106的倾向。

[0028] 可以用若干种方式来确定引领者的路径104。引领者正在遵循的路径可以是由引

引领者通过V2V或其他无线接口传输给跟随者的一组GPS坐标。然而,引领者的路径104也可以由跟随者来确定,而无需来自引领者的输入,诸如通过使用相机和图像处理来周期性地确定引领者的位置。基于这样的信息,跟随者102中的控制逻辑可能有兴趣确定引领者102相对于其自己在a)横向方向或b)纵向方向上的位置、或c)引领者103相对于引领者的车轮附近的车道标记物的横向位置的任何组合。

[0029] 跟随者102可能有兴趣确定其自己相对于其自己车轮附近的车道标记物的位置。这种位置可以由位于跟随者102上任何地方的视觉传感器来检测,该视觉传感器可以看到跟随者前方、后方或侧面的道路上的车道标记物110(或车道位置的其他标记)。使用传感器来连续地确定在这些传感器的视场内的对象的位置的这种过程将被称为基于传感器的位置跟踪。

[0030] 车道标记物110可以由道路表面上的涂色实线或虚线、或准许测量道路表面上的横向位置的任何其他物理或以其他方式可检测的特征组成。这种特征可以包括人行道边缘、新泽西式隔栏、交通锥、护栏等。当该需要是极端的时候,诸如当道路被雪覆盖时,横向位置也可以从邻近车道中的交通工具导出,以或者避免碰撞或者简单地假设它们的运动相当于它们车道的部分定义。另一个极端示例是:在扫雪机清理道路之前,从雪中的轮胎轨迹导出横向位置。

[0031] 应当理解的是,由于所使用的传感器的限制,或被感测的对象特性、或传感器-对象相对布置、或由于其他信号处理问题(诸如,对称性或混叠、或遮挡或噪声水平),任何给定对象(无论是引领者103交通工具、车道标记物110或任何感兴趣的对象)的位置的一些分量可能不是可测量的(正式地称为“可观察的”)。在一些情况下,例如,当没有关于被成像对象的大小的期望值(expectations)可用时,难以或者不可能从单个相机图像中观察到对象的深度,但是可以容易地可观察到对象的方位(bearing)(与位置左或位置右相关)。其中对称性重要的情况是道路上的纵向特征的测量。对于(一个或多个)传感器沿着典型运动方向的移动,这种测量通常基本上不改变,正式地称为“不变量(invariant)”。纵向特征的示例包括实线和虚线车道标记物、护栏、轮胎轨迹、交通锥(traffic cone)的线、道路边缘等。由于这种不变性,相机(或者也许是其他传感器)在纵向方向上(即,沿着行进车道本身)的位置或运动是不可观察的。测量结果也可能展现出混叠,这是因为例如一个虚线车道标记物(或例如交通锥)在沿道路移动一个虚线长度之后看起来与另一个相同。在纵向特征的情况下,通常仍可能的是除了相机相对于车道标记物的取向之外还观察该相机在横向方向上的位置。实际上,有限的可观察性对于横向控制(例如,转向)目的而言不是困难的限制,这是因为纵向坐标通常与车道跟随无关。

[0032] 一般而言,跟随者102使用传感器输入来控制其自己的位置,以使得它尝试保持在与引领者103相同的车道中,从而始终遵守与引领者相同的车道纪律。尽管如此,存在若干个选项以用于定义该相同的车道纪律意味着什么,如下面所讨论的。虽然跟随者102在不具有始终基本上定位在其前方的引领者103的情况下从不操作,但是存在其中两个交通工具在车道120之间操作的情况。一些情况是其中存在改变车道或进入或离开入口或出口匝道或拉动至路肩或避免碰撞的故意意图。

[0033] 应当理解的是,跟随者102不仅仅是“在最短路径上朝向引领者103行驶”,而是取而代之可以执行若干种横向控制纪律中的任何,并且它们甚至可以以各种方式被组合。在

路径模仿中,跟随者应当跟随引领者已经行进过的完全相同的路径。因此,跟随者也争取到达引领者后面的相同位置 P_n 、 P_{n+1} …… P_m 。

[0034] 引领者103由人类来驾驶,或者在其他实例中,可以是执行鲁棒的自我驾驶算法(例如,SAE级别4或级别5自主性)的完全自主交通工具。让引领者103由人类驾驶可以有经济价值,并且让跟随者102上的大部分或全部电子设备被复制在引领者上可以有潜在的安全性和功能价值。在一个场景中,引领者103包括一套完全自主性传感器,并且将它所察觉到的内容报告给跟随者102自主性系统。

[0035] 无论谁在控制引领者103,是人类还是鲁棒的自主驱动器,引领者始终在“证明”用于跟随者102的路径。因此,可以保证跟随者102将以至少与引领者103一样安全的方式进行操作。这进而减少了对跟随者102的约束,因此准许自主跟随者具有不太复杂的逻辑,但是仍然从跟随该引领者103中获得增加的安全性益处。

[0036] 参考诸如图1D中所示的情形,进一步理解了这一点。这里,引领者103和跟随者102正在经历包括弯道202的路径。如果位置P1处的跟随者102简单地“朝向”位置P2处的引领者103“行驶”,则跟随者可能趋向于在从中心车道穿入右车道中的路径205上行进(当它接近弯道202的顶点时),如图1E中所示。这种情形通过让跟随者既“跟随引领者的路径104”、又同时还“遵守车道纪律”来避免。

[0037] 2. 车道跟随

存在诸如狭窄的道路施工区、称重站或停车区中的许多地方,其中道路表面缺乏足够的车道标记物。还存在如下情形,诸如当标记物磨损或损坏时,或者当在道路表面缺乏足够的车道标记物或者它们不充分可见的情况下存在空中或表面遮蔽物(airborne or surface obscurant)(天气/碎屑)时。在这种情况下,路径模仿是有用的横向控制纪律,因为它不取决于任何种类的任何可检测道路特征的存在——引领者的路径形成了从其导出跟随者路径的参考。

[0038] 然而,大多数时间,车道遵守纪律可能更加有用。在该纪律中,跟随者被授予一定程度的自主性来决策或控制其车道中心偏移,即使它不同于引领者的偏移。

[0039] 这种自主性的一个动机是如下事实:由于不足的注意力水平——无论是由疲劳或分心引起的还是出于其他原因,人类驾驶员倾向于允许他们的交通工具在其车道上稍微侧向漂移。此外,许多瞬时扰动(诸如,风、横向加速度、易滑表面等)可能使得引领者偏离其车道中心。在这种情况下,要求跟随者模仿引领者的精确车道中心偏移是有风险的,而且通常是没有价值的。一个风险是轻微的风险,即当跟随者到达同一个地方时,对引领者而言清晰的区域可能不再清晰。另一个风险是,当许多跟随者彼此跟随时对于车道中心偏移误差复合(compound)的倾向(串不稳定性(string instability))。

[0040] 如果跟随者102被授予“车道内偏离权限”——在其车道内的任何地方进行移动、或者等效地至少在惯常操作期间在某种程度上偏离引领者的精确路径的权限,则所有这些风险都会得到缓解。

[0041] 3. 车道偏移模仿以及与引领者路径的暂时偏离

尽管如此,存在一些非惯常的情形,其中跟随者102更紧密地跟随引领者103的道路104可能是重要的。上面讨论了车道标记物不足的情况。另一种情况是如下情况:当存在车道标记物110、但是引领者103出于暗示跟随者102应该在相同地方做出相同机动的原

而故意地并且也许是显著地偏离其车道中心时。这里,因为存在车道标记物110,所以我们可以将期望横向控制纪律定义为“车道中心偏移模仿”。这种纪律可以依据模仿引领者的车道中心偏移而允许更准确且更有用地定义期望的跟随者路径。这种定义不同于路径模仿,该路径模仿而是依据引领者路径的估计(从相对姿态的视觉传感器测量和跟随者的运动历史中导出)来定义跟随者路径。

[0042] 另一个考虑因素是:一般而言,人类驾驶员倾向于相对于车道标记物110不断地“漂移”,并且不会确切地保持在其车道内。所以,在一般情况下,跟随者102始终确切地模仿引领者103的车道行为可能并不理想。在许多情况下,更好的是,跟随者使用可用车道标记物110(或行进车道所在的地方的其他标记)来保持在其车道120内,同时仍然遵守安全跟随距离。然而,当引领者103故意且显著地偏离其车道时,诸如在车道改变期间或为了避开障碍物,跟随者102应该切换成模仿引领者的移动。

[0043] 这里使用的术语“障碍物”与本领域中经常使用的一样。障碍物不仅指代可能阻碍运动的静止或移动的刚性对象。障碍物附加地指代在某个时间在空间中一位置处发生或可能发生的任何其他危险状况(通常被称为危险),该危险状况可以表示对交通工具或附近的人员或财产的安全性风险。例如,引领者或跟随者交通工具可以采取动作以避免遇到“障碍物”,该“障碍物”是道路上的点,其是坑洞(pothe),或者被碎屑或雪覆盖,或者被怀疑是黑冰,或者是人类或机器的感知难以理解的。

[0044] 将注意力转到图1B,保持在与引领者103相同的车道120中还可以涉及让跟随者102模仿引领者103的“车道中心偏移”130。这里,在中心车道120-2中行进中的引领者103已经近似漂移了四分之一车道从而进入左车道120-1。因此,跟随者102可以检测或被告知该车道偏移状况,并且调整其自己的横向位置,以便也朝向中心车道120-2的左侧行进车道宽度的四分之一,从而“模仿”引领者103的车道中心偏移130。

[0045] 使用车道偏移模仿的关键动机是上面提及的潜在更高的准确性、以及跟随者的前方道路视场稍微被引领者自己阻挡的事实。然而,这并不是说跟随者102不可能针对短的间隔而偏离引领者的路径104。

[0046] 关于是否模仿引领者的车道偏移130的决策有时可能是困难的。当引领者103正在避开静止障碍物时,这显然是值得的,而当模仿引领者将导致跟随者与邻近其自己的交通工具碰撞时,这显然是不值得的。这里,再次可以看到,对于跟随者102来说,被授予关于是否偏离其车道中心的一定程度的自主性可以是有利的。在实现这种自主性时,两个控制决策可以包括:1)跟随者102如何知道引领者103是否故意地偏离(也许是被风吹动或者因为引领者103的驾驶员疏忽)、以及2)即使知道,跟随者102是否应当模仿。跟随者102可能例如具有偏离权限,该偏离权限准许拒绝引领者的瞬时转向机动(“机动拒绝”权限),或者生成并执行其自己的机动以避开障碍物(“障碍物避开”权限)。

[0047] 如图1C中所示,在一个情形中,即使当引领者103报告(或被跟随者观察到)暂时偏离时,跟随者102也可以保持在中心车道中。这可能发生在当检测到动物140正在跨引领者103的预期路径跑动(例如,从右到左跑动)的时候。这种情形也可以例如由跟随者102利用其相机或其他视觉传感器来检测。

[0048] 如果引领者103检测到图1C中的情形,那么引领者103可以向跟随者102报告由该动物140的存在引起的暂时偏离。或者也许在这种情形中,引领者简单地不报告其暂时位置

Pt.跟随者102然后可以确定在没有偏离的情况下保持在其车道中是安全的,因为当跟随者到达该点时,该动物140将已经通过。或者也许跟随者102具有机动拒绝权限,并且可以确定继续模仿引领者103的车道中心偏移或暂时地自行执行某个其他障碍物避开机动是最安全的。

[0049] 4. 横向控制纪律的融合

存在如下这样的情形:其中激活多于一个横向控制纪律并以某种方式将它们合并可能是有价值的。例如,在其中跟随者102正在施工区中模仿引领者103的路径、但是在有效车道边缘附近存在新泽西式隔栏或护栏的情况下,允许由行进车道(例如,护栏)跟随指示的标称路径来覆盖由路径模仿指示的标称路径可能是更安全的,因为后者使跟随者过于接近车道边缘处的物理隔栏。换句话说,引领者路径104可以被认为是“优选路径”,但是当安全性需要时,可以由车道导出的路径来覆盖它。

[0050] 还有其他方式来实现相同的结果,这些方式可能更加可靠或较不可靠。例如,如果跟随者102具有障碍物避开偏离权限,则它可以行使这种权限,并且将新泽西式隔栏车道边缘视为(硬)障碍物,而不是车道标记物(暗示)。

[0051] 在这种情况下,跟随者102简单地决定切换到不同的车道110跟随横向控制纪律也可能是跟随者的,如下面所讨论的。如果准许这种自主切换,则实际的实现方式可以受益于人类干预的机制和/或对该切换强加先决条件的机制。

[0052] 5. 横向控制纪律中的人类发起的、自动的且有条件的改变

存在如下情形:其中跟随者102决定将其横向控制纪律从一个切换到另一个可能是有用的。例如,如果跟随者正在模仿130引领者路径104,但是它发现车道标记物110已经稳定了一段时间,则它可以开始跟随车道标记物110。它可以完全独立地这样做,或者跟随者102可以选择询问引领者103该改变是否是可接受的,或者它可以仅在车道标记物110所定义的标称路径不会显著偏离引领者路径104的程度上跟随车道标记物110。

[0053] 还可能的是,如果新纪律和旧纪律两者都被激活达一时间段以便使该过渡平滑和可靠,则切换纪律的决策过程将更可靠。

[0054] 引领者103的人类驾驶员也可以在任何时候感知跟随者102过渡到不同纪律的即将到来的需要,并且告知跟随者102进行切换或者调节(condition)跟随者以准备切换将是有益的。示例是如下情况:其中新施工区、或到新施工区的变更刚刚发生,并且跟随者可以受益于应对它时的帮助。

[0055] 6. 在撤销了(revoke)车道改变或其他机动的自主性的情况下的车道偏移模仿

上述讨论已经呈现了其中车道偏移130模仿对于帮助跟随者102避开障碍物可能有益的情形。有时,还认为,当跟随者102自己的情形不同于引领者的情形时,跟随者102可以受益于行使一定程度自主性的自由。

[0056] 尽管如此,存在当跟随者102让其偏离权限暂时被撤销可能更加安全时的其他情形。一个明显的情况是其中两个交通工具都承诺执行车道改变机动的情况。在该机动期间撤销偏离权限可能是有效的设计决策,因为与将跟随者独自留在其车道中相关联的安全性风险(如果该机动失败的话)实际上高于承诺该机动的较差决策的安全性风险。

[0057] 存在其中撤销的偏离权限可能有用的仍其他情形。它们包括涉及如下各项的任何情形:每当引领驾驶员决定撤销它时,在其中偏离通常被允许的针对跟随者102的更宽ODD

(操作驾驶域)之外进行操作;以及某些非公路(off-highway)操作,如从/向串行(tandem)或并行停放配置而停止或开始该车队。

[0058] 要注意的是,偏离权限是相对于跟随者102的标称路径来定义的,在引入任何跟随者发起的偏离之前,跟随者102或多或少应该在该标称路径上行进。标称路径可以包括内置固有的(built-in intrinsic)或引领者发起的偏离,诸如当跟随者在停放机动中故意地拉动以停在引领者旁边时。

[0059] 7. 强加跟随者导出的先决条件

当还存在如下情形:其中当跟随者102的自主性甚至扩展到否决引领者103的意图的程度时,安全性被增强。一个这样的情况是如下情况:其中跟随者102相当确信存在对其侧面的碰撞风险,该风险显然对于引领交通工具103的驾驶员不是已知的,该驾驶员可能正在请求例如跟随者102开始车道改变机动。

[0060] 减少对自主跟随者102的需求的另一个行为是:跟随者102即使在车道改变期间也保持在引领者103的正后方。这可以涉及强加对引领者102的约束,使得它选择对跟随者102来说最可能安全和/或容易导航的新车道,或者它将机动的定时限制到最可能安全的那些时间。这种车道跟随可以是“串稳定的(string stable)”——使得在一行中彼此跟随的若干个跟随者不会导致该车队像狗尾巴一样“摇摆”。

[0061] 考虑图2A中所示的情形。跟随者在中心车道中跟随引领者。然而,引领者103和/或跟随者102检测和/或报告干扰交通工具180(也用字母I表示)位于邻近车道120-3中。在检测到这种状况后,引领者103将不会尝试向右改变车道,直到干扰交通工具180经过了该车队或已经落在后面。或者,在这种情形下,引领者103可以取而代之决定改变到最左边的车道120-1中。

[0062] 在另一种情形下,如图2B中所示,干扰交通工具180可能仍然离该车队有一定距离,并且因此引领者103和跟随者102仍然具有空间和时间来执行到右车道120-3的改变。然而,潜在干扰交通工具180可能被检测为以快速的速度来接近车队,使得右车道120-3中的可用空间在车道改变后不久将不再可用。在这种情形下,即使空间和时间足够,引领者103也可以决定等待并且不执行车道改变,直到干扰交通工具180已经超过引领者103之后。

[0063] 图2C是车道改变的又一个潜在约束。这里,车队右侧的车道标记物110模糊了。这可能是由于磨损或缺失的标记、或天气条件、或任何使跟随者难以在遵守车道标记物限制的同时跟随引领者的状态。在这种情况下,按照图2D,在引领者103或跟随者102检测到车道标记物110模糊的事实之后,引领者103可以选择将车道改变到左侧120-1,在那里,车道标记物更清晰。或者,引领者103可以简单地等待,直到车道标记物110在发起任何车道改变机动之前再次清晰。

[0064] 在另一种场景中,引领者103和跟随者102如图2E中所示那样开始,在它们之间具有间隙106。潜在干扰交通工具180-1(I1)和/或180-2(I2)存在于邻近的最左侧车道中,其中例如交通工具I1快速地接近同一车道中的交通工具I2。当引领者103考虑做出车道改变时,检测到潜在干扰交通工具I1。引领者103和/或跟随者102采取步骤以暂时减小它们之间的间隙106,至少足以阻止干扰交通工具I1尝试进入间隙106。可以通过引领者103减速而跟随者102保持速度来减小间隙106。更一般地,并且对于交通工具之间的间隙的所有调整,可以通过具有期望效果的个体交通工具的加速和减速的任何组合来实现改变,但是这些选项

在快速性、可行性、安全性、燃料消耗或其他属性方面可能不同。它们也可能在作为整体的车队的所得的运动方面不同,这也许是在其质量中心或区域等的运动方面来定义的。利用这种减小的间隙106间距,引领者103和跟随者102然后可以向右执行车道改变,如图2F中所示。由于快速地接近I2而被激励的交通工具I1更有可能简单地使用现在清晰的中心车道120-2来实现其对I2的超过。

[0065] 8. 引领者切换/移交(handover)策略

该方法涉及将自主跟随者102从一个引领者切换(等效地,移交)到另一个引领者。所涉及的交通工具中的任何交通工具中可能存在或者可能不存在人类驾驶员。一个感兴趣的用例是:其中当所有三个交通工具都在“移动中”时,自主跟随者从一个引领者切换到另一个引领者。

[0066] 该切换可以如图3A中所示的那样进行。这里,跟随者102(F)使用任何已知的技术自主地跟随第一引领者103-1(引领者一,或L1)。在随后的某个时间,如图3B中所示,另一个引领者103-2(引领者二,或L2)在邻近车道上与该车队并排拉动(pull up)。此时,跟随者102仍在跟随引领者一103-1。在针对先决条件(诸如,没有阻塞的交通或干扰交通工具或模糊的车道标记物等)进行测试之后,跟随者102从跟踪引领者一103-1切换到跟踪引领者二103-2。此时,该车队现在由跟随者102和引领者二103-2组成,其中引领者一103-1已经退出(drop out),参见图3C。跟随者然后改变车道以保持与引领者二后面的同一车道中,如图3D中所示。

[0067] 在另一种场景中,按照图3E,引领者一103-1与跟随者102之间的间距在引领者二103-2接管之前增加。这为引领者二103-2留下了足够的空间,以进入与其他两个交通工具相同的车道,从而落在引领者一103-1与跟随者102之间。该空间可以通过使跟随者102减速或使引领者103-1加速来产生。重要的是,增加该间隔是为了给引领者二103-2留出足够的空间。接下来,如图3F中所示,跟随者102可以立即切换成跟随引领者二103-2所遵循的路径。引领者一103-1然后摆脱其关于跟随者102的责任。或者,跟随者102可以仅当引领者二103-2如在引领者二103-2车道改变期间所预期的那样开始阻挡引领者一的视图时才切换成跟随引领者二103-2。

[0068] 在上面描述的若干个引领者互换操作中,跟随者102可以当引领者二103-2处于另一个车道(跟随者102应改变到该另一个车道中)时、或者当引领者二103-2正处于改变到跟随者车道的过程中时切换成跟随引领者二103-2。在任一情况下,更逐渐地执行到新引领者的过渡使得该过渡在一时间段或距离上延续可能是有用的。几个策略有可能实现这一点。

[0069] 无论哪个交通工具正在改变车道,车道改变的细节可以如下那样进行。一旦满足了执行引领者互换机动的任何先决条件,跟随者就切换成在引领者二103-2正被跟随者102在视觉上跟踪的意义上“跟随”引领者二103-2,并且引领者二103-2或跟随者102或其两者现在具有如下目标:即,快速地横向移动以将跟随者定位在其新引领者后面。要注意的是,一旦切换发生,跟随者102就至少初始地处于与引领者二103-2不同的车道中,或者部分地处于与引领者二103-2不同的车道中。

[0070] 在一个实施例中,在当时对跟随者102有效的横向控制纪律将被允许正常起作用。它将注意到与引领者二103-2的路径的大横向偏移,并且它将生成校正轨迹,该校正轨迹使得跟随者102会聚到引领者二103-2的路径上。在另一个实施例中,跟随者的期望路径将被

定义为使得它初始地与引领者二103-2的路径偏移一个车道宽度(或者在切换发生时的时刻处的偏移量),并且这种故意的偏移将随着跟随者102行进的时间或距离自然前进而缓慢减小。在第三个实施例中,跟随者102被告知车道跟随模式或者将其自身置于车道跟随模式中,而引领者二103-2通过横向地移动来完成该机动。

[0071] 在任一个实施例中,最终效果(net effect)将是跟随者102渐渐地变得在引领者103-2后面对齐。在最一般的情况下,跟随者102将朝向引领者103-2横向地移动,而引领者103-2同时朝向跟随者102横向地移动。跟随者102可能意识到或者可能没有意识到它或引领者103-2正在改变车道,并且无论任一个交通工具的路径是否使用纵向特征来确定它们相对于车道的位置,这都可能是这种情况。重要的是,两个交通工具最终在短时间段内或多或少地横向对齐。

[0072] 此外,在其中引领者二103-2由人类驾驶员控制的情况下,这些策略可以全部被设计为使得它们自动适应引领者103-2的横向运动中的变化以实现期望的目标配置。这是这种情况,是因为横向路径跟随误差是期望与实际(横向)位置之间的差,并且改变任一个或两者都将影响该误差。换句话说,无论引领者103-2是否执行预期的运动,跟随者102都可以被配置成以这样的方式进行补偿,以确保它最终处于引领者二102-3后面。如果引领者103-2未能这样做,则跟随者102可以改变车道,并且如果引领者二103-2在短时间段或短距离内执行了车道改变,则跟随者102可以保持在其车道中。跟随者102不一定需要知道多少横向校正意图由每个交通工具负责,并且它不需要知道任一个交通工具是否正在改变车道。这种方法的一个优点是,即使在车道、或者没有车道标记物、或者没有足够可检测的车道标记物作为横向位置测量的基础时,它也起作用。

[0073] 允许引领者103-1、103-2和跟随者102之间的移交的这种方法消除了引领者和跟随者自始至终遵循完全相同的行进路线的要求。换句话说,引领者103的序列现在可以覆盖跟随者102所期望的路线,其中多个引领者轮流承担引领者角色,同时跟随者保持移动。这种方法还消除了为了切换引领者而在路肩上或在休息站处将车队停止的需要。最重要的是,这种方法允许引领者互换,而从不会将跟随者102独自留在其车道中,这将由此需要跟随者102应对任意的交通情形。

[0074] 9. 否决超控(override)

在上述任何情况下,使人类驾驶员保留对任何和所有机动的最终权限是有用的。例如,这对于迫使具有失败或有故障的传感器的跟随者102拉动到道路侧面可能是重要的。另一个示例是其中引领者驾驶员检测到道路中的障碍物(诸如,洞)并且想要迫使跟随者102避开它的情况。这种“负面障碍物”对于自主交通工具来说非常难以可靠地检测到。

[0075] 10. 实现方式细节和选项

如上面简要提及的,图4是自主交通工具(诸如,半挂卡车)的某些组件的示例示意图。半挂卡车可以包括牵引车和相关联的拖车。位于牵引车和/或拖车中的电子设备400包括一个或多个传感器410、通信接口415、控制器440和去往驱动系统的接口480。

[0076] 传感器410可以包括视觉传感器(诸如,相机、雷达、声纳或LIDAR)、速度传感器(诸如,里程表和陀螺仪)以及其他传感器。一些视觉传感器将具有涵盖了自主卡车前方区域的视场,并且其他视觉传感器可以具有涵盖了从牵引车或耦合到牵引车的拖车的每一侧横向延伸的侧面区域的视场。仍其他传感器可以指向下方以查看道路表面和/或构成预期行进

车道的区域的横向范围的车道标记物或其他指示。

[0077] 自主跟随者中的其他电子设备可以包括一个或多个计算机。(一个或多个)计算机处理从传感器410接收到的数据,实现或使用感知逻辑420来确定一个或多个状况,并且取决于那些状况来实现或执行规划器逻辑427。规划器逻辑427进而生成控制信号,这些控制信号被馈送到控制器逻辑440。控制器逻辑440进而生成控制信号,这些控制信号被馈送到操作驱动系统的接口180,接口180包括制动、转向和推进接口。

[0078] 经由无线接口、诸如交通工具到交通工具(V2V)通信接口415来传输和接收数据的无线电收发器也可以提供在规划器427或控制逻辑440中使用的数据。

[0079] 例如,引领者正在遵循的路径428可以由引领者通过V2V接口115传输给跟随者。

[0080] 驱动系统490至少包括加速(或节流)、制动和转向机构,它们对由控制逻辑440提供的电气控制信号输入做出响应。

[0081] 如本文中所使用的,计算机可以包括对应于一个或多个处理器、中央处理单元、图形处理单元、数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)和/或定制设计的硬件的可编程数据处理设备。在一些配置中,由(一个或多个)计算机执行的方法和/或由计算机提供的装置经由软件程序代码的执行(例如,计算机可读指令的执行)被实例化。这些指令可以被存储在计算设备的一个或多个存储器资源中。程序代码可以包括程序、子例程、程序的一部分、软件组件、和/或能够执行一个或多个所陈述的任务或功能的专用硬件组件。模块或组件可以独立于其他模块或组件存在于存储器中或硬件组件上。替代地,模块或组件可以是其他模块、程序或机器的共享元件或过程。

[0082] 规划器从传感器410、感知逻辑420和/或V2V接口415接收数据,以确定要由自主跟随者102执行的动作,以便使其在所选的路线上继续以到达目的地。

[0083] 如本文档中的其他地方所解释,感知逻辑420和/或规划器427可以基于一组必要的传感器410和期望的约束被独特地配置,该期望的约束允许跟随者102沿着与引领者103相同的路径行进,同时还观察车道标记物,或者在车道改变期间或引领者移交期间还模仿引领者的车道中心偏移。

[0084] 在一些示例中,传感器逻辑(未示出)可以在多个传感器410输出的传感器数据被提供给感知逻辑420之前对其进行融合。

[0085] 感知逻辑420从传感器410接收输入,并且执行诸如对象检测和分类、或引领者路径确定、和/或引领者路径预测之类的功能。对象检测和分类可以使用图像处理来检测车道标记物、或者干扰交通工具的存在、或者诸如穿过道路的动物之类的障碍物。引领者的路径可以从引领者被传输到跟随者,或者由感知逻辑来确定,诸如通过比较引领者交通工具的后部的接续图像并且使用3D图像处理技术来导出引领者的姿态的序列。在同一天提交的并且题为“VISION-BASED FOLLOW THE LEADER LATERAL CONTROLLER”的序列号为_____的共同待决美国专利申请(代理人案卷号3827-007U01)中描述了确定和跟随引领者路径的一些示例方法,该专利申请在此通过引用而并入。

[0086] 感知逻辑420在标识例如自主跟随者正在使用的行驶车道、其距车道边缘或道路边缘的距离、和/或距引领者所提供的参考点的行进距离中的任何一个或多个方面可以是特定的。

[0087] 感知逻辑420可以生成感知输出,该感知输出标识关于移动对象的信息,诸如移动

对象(诸如,干扰交通工具180或第二引领者130-2)的分类。感知逻辑420可以例如从融合的传感器视图中标识每个所分类的感兴趣对象,诸如环境中的动态对象、与个体对象相关联的状态信息(例如,对象是否在移动、对象的姿态或对象的方向)、和/或每个动态对象的预测轨迹。

[0088] 感知输出可以由控制器140处理,从而生成警报,该警报使得跟随者所跟随的轨迹被更改。

[0089] 接口480使得能够控制驱动系统的个体机械元件490。这些可以包括电气地(或通过编程)控制推进组件的接口(例如,油门踏板或电动机扭矩控制、用于转向机构的转向接口、用于制动子系统的制动接口等)。这些命令可以包括轨迹输入(例如,转向、推进、制动)和一种或多种其他方式来指定自主卡车的操作状态(例如,期望的速度和姿态、加速度等)。

[0090] 控制逻辑440可以附加地从运动传感器110(例如,用于测量速度的里程表或者用于测量转弯速率的陀螺仪)接收输入。它可以执行诸如反馈控制之类的功能,这些功能监视期望运动与测量运动之间的差异,并且调整被馈送到驱动系统的控制信号以便去除任何误差。

[0091] 作为示例,从控制系统440生成的命令可以指定沿着自主跟随者在某个时间处以及在运动时要在其处占据的道路段的相对或绝对位置(例如,其相对于当前车道的横向位置,或者距引领者的纵向间隙)。这些命令可以指定速度、来自制动或加速的加速度(或减速度)中的改变、转弯动作等。控制器将这些命令转化成用于对应机械接口的控制信号;控制信号可以采取与幅度、持续时间、频率或脉冲或其他电气特性相关的模拟或数字电信号的形式。

[0092] 11. 示例行为流程

图5A是可以由规划器427和/或控制器140实现的流程的一个示例。跟随者首先(在510处)以上面描述的方式来确定引领者沿着路径的一系列位置(p_1 、 p_2 …… p_n),诸如通过使用传感器,或者通过经由通信接口被通知。接下来,在511处,控制跟随者的纵向位置,使得跟随者沿着该路径到达与引领者相同的对应纵向位置。在512中,还使用传感器来确定行进车道的属性。

[0093] 然后,在513处检测条件,诸如引领者是否偏离该路径。如果否,则在514处,跟随者通常使用检测到的行进车道属性来确定其横向位置,而不考虑引领者沿着该路径的任何检测到的横向位置。然而,如果跟随者被通知或检测到引领者正在偏离其行进车道的条件,则在515处,跟随者将其自己确切地定位在引领者的正后方,使得跟随者跟随与引领者完全相同的路径,包括引领者遵循的相同横向位置,直到该条件不再存在。

[0094] 图5B是类似但稍微不同的可能流程。如图5A中的情况一样,跟随者首先以上面描述的方式来确定520引领者沿着路径的一系列位置(p_1 、 p_2 …… p_n),诸如通过使用传感器,或者通过经由通信接口被通知。接下来,在521处,控制跟随者的纵向位置,使得跟随者沿着该路径到达与引领者相同的对应纵向位置。还使用传感器来确定或检测522行进车道的属性。然后,在523处检测条件,并且取决于该条件,跟随者或者通过在524处使用检测到的车道属性来确定车道内的偏移、或者通过在525处模仿引领者在车道内的横向位置来进一步控制其自己在该行进车道内的横向位置。

[0095] 这里的条件可以包括车道标记物对于跟随者是否可见;引领者的位置是否是可检

测的;或者引领者是否正在执行车道改变。

[0096] 图5C是可以在引领者互换机动期间启用的行为流程。这里,所涉及的交通工具包括第一引领者、跟随者和第二引领者。初始地,跟随者在530处检测或以其他方式确定第一引领者的路径($p_1, p_2 \dots p_n$),并且在531处经由基于传感器的位置跟踪来跟随第一引领者的路径($p_1, p_2 \dots p_n$)。当在532处检测到第二引领者时,跟随者在533处开始跟踪该第二引领者的位置。随后但是仅当534处的先决条件首先被满足时使得跟随者能够跟随第二引领者而不是第一引领者。当该先决条件指示引领者互换可以进行时,跟随者在535处经由对第二引领者的基于传感器的位置跟踪来开始自主地跟随第二引领者的路径,并且在536处停止跟随第一引领者的路径,这是以使得跟随者在要么没有第一引领者、要么没有第二引领者要跟踪的情况下从不独自处于行进车道中的方式来进行的。

[0097] 引领者互换条件可以包括以下各项中的任何或全部:针对第一引领者、第二引领者或跟随者中的一个或多个的多个可用行进车道;前方没有阻塞的交通;侧面没有干扰交通工具;没有从后面接近的交通工具;对于跟随者的传感器可见的车道标记物;跟随者是否能够检测第一引领者、第二引领者或其两者的位置;跟随者的自主性级别;或者使跟随者到具有第二引领者的排的授权。

[0098] 11.行为管理

在自主交通工具领域,常见的是,将自主系统的设计和实现构造成同时追求多个目标的“行为”的层次结构或其他布置,这些目标有时可能是不同的、互补的、冗余的或甚至是冲突的。这种结构的许多动机之一是管理对于预测未来和仔细考虑选项所需的时间和计算相对于对非预期状况发生时对其做出反应的硬实时要求的权衡。

[0099] 在本文中所描述的实施例的情况下,所述系统和方法可以被布置成向具有各种自主行为的跟随者102赋予例如概括引领者路径104的概念、偏离引领者路径104、或限制引领者路径104的权限。

[0100] 一般而言,成排(platooning)的概念是如下概念:其中引领者交通工具103的运动构成了跟随者102在某种程度上要模仿的“标称”路径。引领者的标称路径可以被定义为其字面意义的路径或包含其路径的车道,并且它可以以相对于跟随者或相对于车道的方式来测量。

[0101] 引领者的“标称”路径($p_1, p_2 \dots p_n$)可以由a)引领者在道路上的实际路径、b)引领者的预期车道的中心线、或c)与引领者的预期车道的中心线的时间相关偏离来定义。

[0102] 引领者的实际路径可以通过发送给跟随者的引领者的GPS坐标、与跟随者运动历史组合的引领者的引领者-跟随者相对姿态、或引领者的车道中心偏移(如由跟随者的传感器检测到的)来测量。

[0103] 跟随者可以以它尝试复制引领者的如所测量的标称路径的方式来操作,或者它可以简单地假定在与引领者相同的车道上独立地移动、或被给予在与引领者相同的车道上独立地移动的权限。尽管如此,关于为什么引领者可能期望或想要跟随者偏离标称路径,存在许多原因。

[0104] 跟随者的“标称”路径、即跟随者在惯常状况下应当跟随的路径可以被定义为可能通过所指定的偏离来调整的任何引领者标称路径。后者包括执行如下指令所需要的偏离:如“停在我旁边”,其中跟随者不应跟随引领者;或者“保持在你的车道中”,当跟随者已经过

渡到跟踪即将拉到跟随者前面的新引领者时。

[0105] 基于检测到的状况或所协商的协定,跟随者的许多自主行为可以变成活动的或不活动的,其中一些行为可以优先于其他行为,而仍有其他行为可以同时操作。关于为什么跟随者可能期望或想要或决定偏离其自己的标称路径,也存在原因。这种偏离是自主生成的,并且与所指定的偏离不同,它不是由引领者指定的,也不是由某种预定义的机动指定的。

[0106] 跟随者“期望”路径可以被定义为可能通过在主要偏离权限下产生的运动来调整的任何跟随者标称路径。

[0107] 引领者和跟随者的“实际”路径可以被定义为他们“真正”驾驶的路径。由于扰动以及因为控制和估计是不完美的,所以它们不同于期望路径。

[0108] 偏离权限可以是惯常状况下的“在车道内(in-lane)”、当跟随者判断引领者的车道偏移不重要、不相关或不安全时的“机动拒绝”、或在需要避免碰撞时的任何情形下的“碰撞避免”中的任何或全部,或者如对于本领域技术人员将明显的那样,它可以针对其中设计者认为跟随者行使偏离其标称路径的一定程度的权限是重要的任何状况来定义。

[0109] 横向控制纪律(如路径模仿和车道跟随)可能不完全相互排斥。在一个设计替代方案中,跟随者交通工具将从车道跟随切换到路径模仿,每当它变得困惑时、或者当它被告知这样做时等等。

[0110] 由于行为通常具有记忆,通常被称为“状态”,因此如果旧行为和新行为在一时间段内是活动的以呈现平滑过渡,则行为中的切换的实现将常常需要或受益。例如,如果从路径模仿切换到车道跟随,则可以使用过渡时段来避免去往转向致动器的命令中的跳跃。

[0111] 行为激活中的改变可以在其中系统设计者或人类操作者认为它是最安全的替代方案的某些条件下或出于其他原因被单方面地发起和制定。

[0112] 在车道改变机动(其包括关于进入或离开入口/出口匝道和路肩的所有操作)期间,暂时撤销跟随者的偏离权限可能是有价值的。这种撤销可以被执行以强制实施(enforce)如下规则:即,跟随者从不独自处于其车道中——这是在车道改变期间准许偏离的可能失败后果。

[0113] 在其中跟随者不能胜任使用偏离权限的任何情形下,也可能需要撤销偏离权限。其他示例包括在非公路操作中、或者每当引领驾驶员决定撤销它时在其ODD(操作驾驶域)之外操作的跟随者。

[0114] 行为激活中的改变可以受制于先决条件的满足,该先决条件包括握手协议的执行。行为激活中的改变可以甚至受制于另一个交通工具或人类做出的否决。

[0115] 因为偏离权限的撤销本身存在安全性风险,所以跟随者可能需要具有对不必要的机动的否决权。在一个替代设计中,它仅能够在承诺该机动之前进行否决。

[0116] 在其中引领者中存在人类驾驶员的一个替代设计中,人类引领者驾驶员的判断可以具有最高优先级。人类可能需要能够否决该否决(例如,车道改变机动的否决),诸如在其中跟随者处于故障模式从而使其不能胜任的情况下。这种人类超控将准许跟随者被迫使越过定义了路肩边界的涂色线,并且在路肩上停止。

[0117] 12.其他观察

以上描述包含若干个示例实施例。应该理解的是,虽然上面可能关于若干个实施例中的仅一个公开了特定特征,但是该特定特征可以与其他实施例的一个或多个其他特征

相组合,这对于任何给定或特定应用可能是期望的和有利的。当然,出于描述本文中的创新的目的而描述组件或方法技术的每一个可设想的组合是不可能的,并且本领域技术人员现在可以鉴于上面的描述而认识到许多进一步的组合和排列(permutation)是可能的。此外,就本详细描述或权利要求中使用的术语“包括”和“包括有”及其变体而言,这些术语旨在以类似于术语“包含”的方式而是包含性的。

[0118] 还应该理解的是,框图和流程图可以包括更多或更少的元件,这些元件被不同地布置,或者被不同地表示。如本文中所描述的计算设备、处理器、控制器、固件、软件、例程或指令也可以仅执行某些所选动作和/或功能。因此,将领会的是,将一个或多个这种组件指定为仅提供某些功能的任何这种描述仅仅是为了方便。

[0119] 虽然上面已经关于流程图描述了一系列步骤,但是在其他实现方式中可以修改步骤的次序。此外,操作和步骤可以由附加或其他模块或实体来执行,这些模块或实体可以被组合或分离以形成其他模块或实体。例如,虽然已经关于某些图描述了一系列步骤,但是可以在与本文中解释的原理一致的其他实现方式中修改步骤的次序。此外,可以并行地执行不相关的步骤。此外,所公开的实现方式可以不限于硬件的任何特定组合。

[0120] 本文中使用的任何元件、动作或指令都不应该被解释为对于本公开是关键的或必要的,除非明确如此描述。此外,如本文中所使用的,冠词“一”旨在包括一个或多个项目。当仅旨在一个项目时,使用术语“一个”或类似的语言。此外,短语“基于”旨在意指“至少部分地基于”,除非另行明确地声明。

[0121] 因此,本专利所覆盖的主题旨在包含所有落入所附权利要求的精神和范围内的这种变更、修改、等效物和变型。

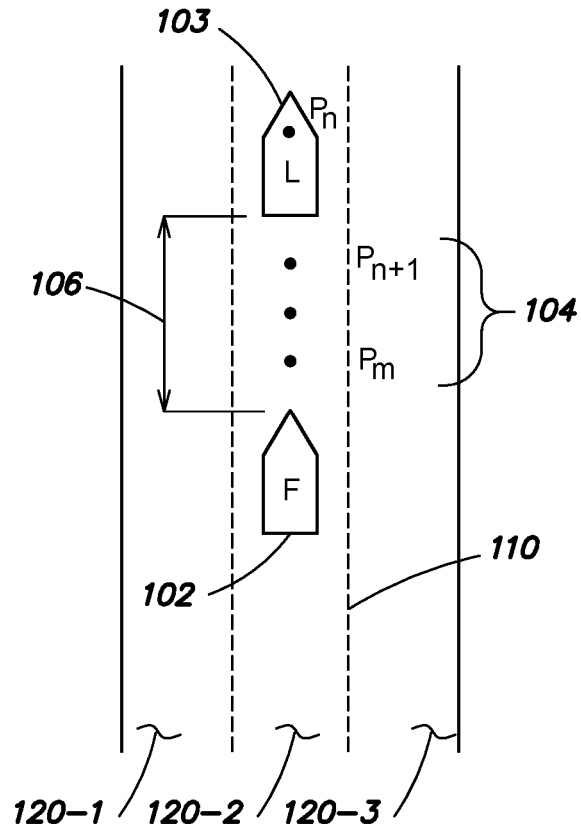


图 1A

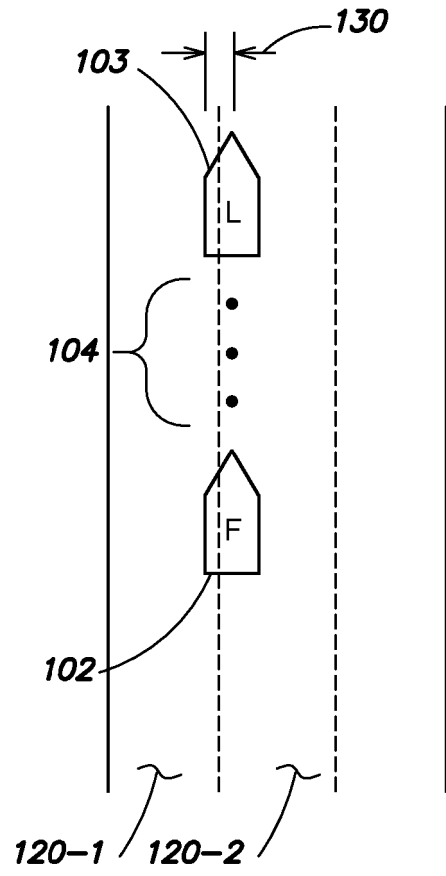


图 1B

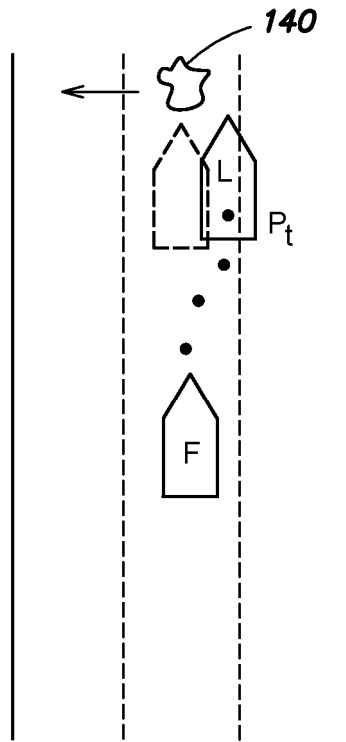


图 1C

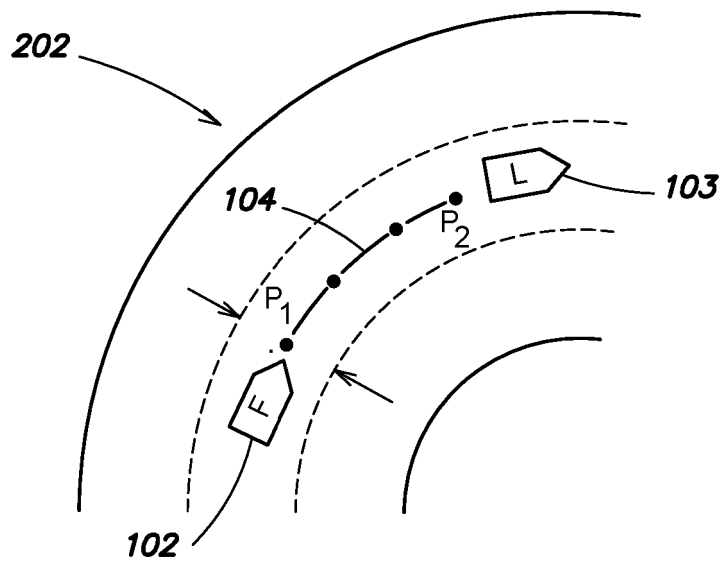


图 1D

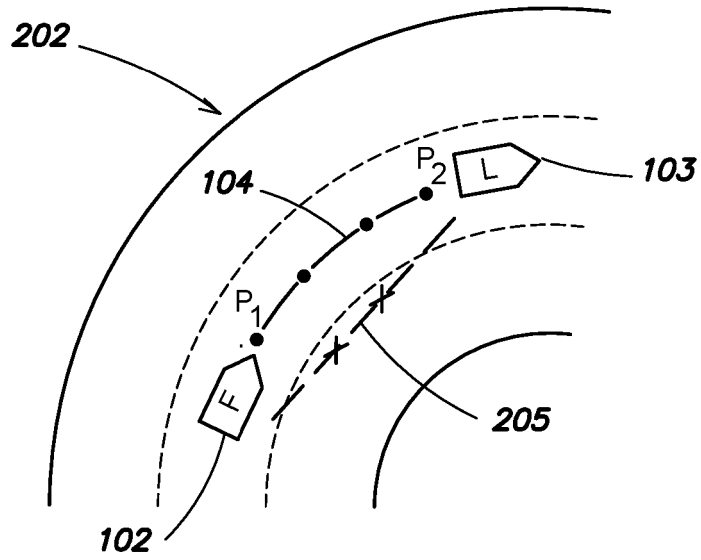


图 1E

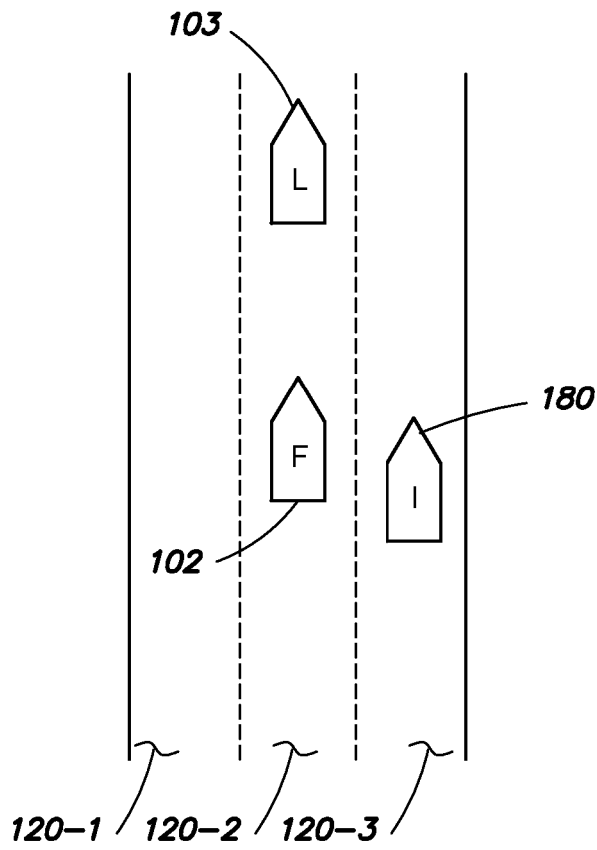


图 2A

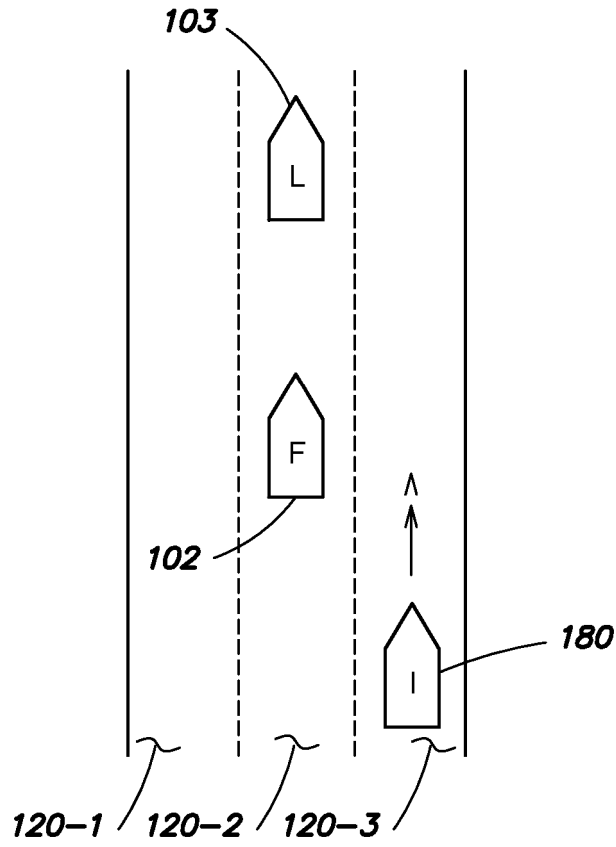


图 2B

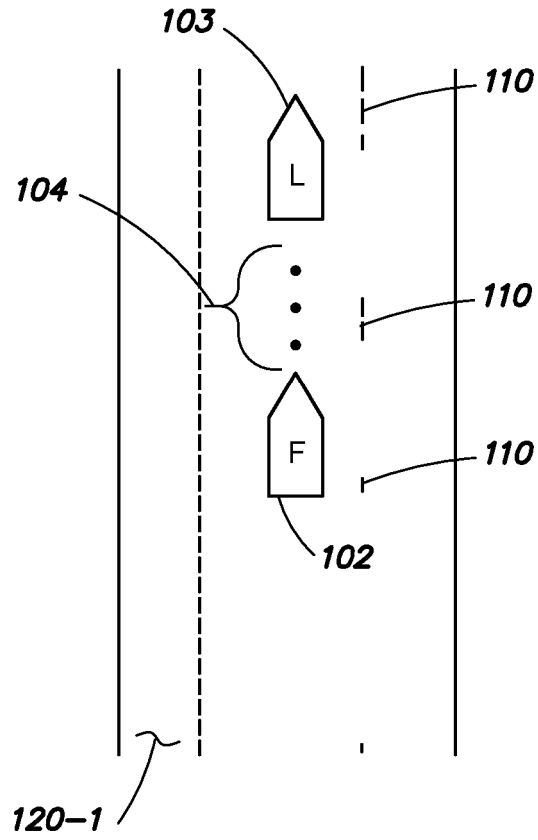


图 2C

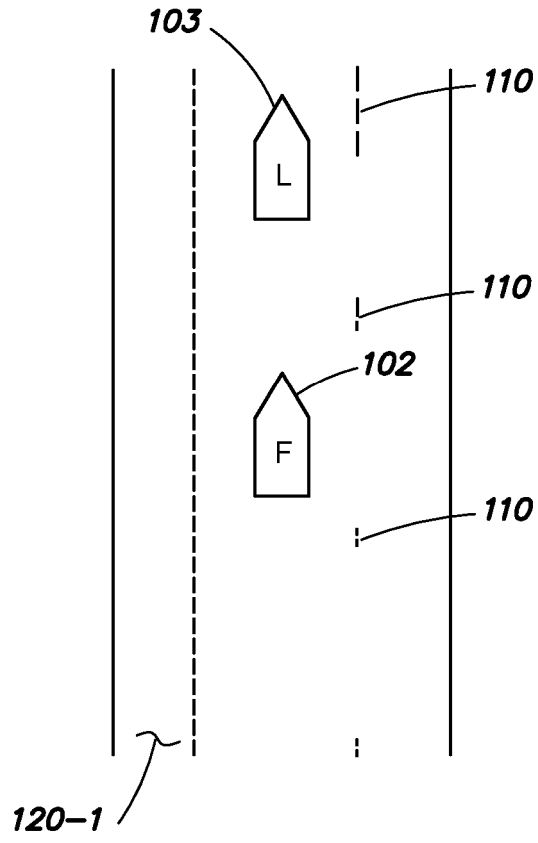


图 2D

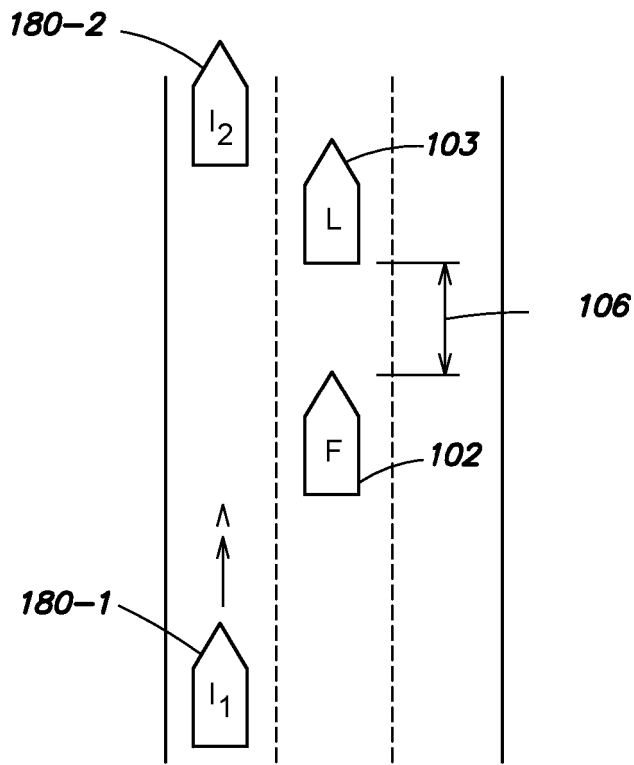


图 2E

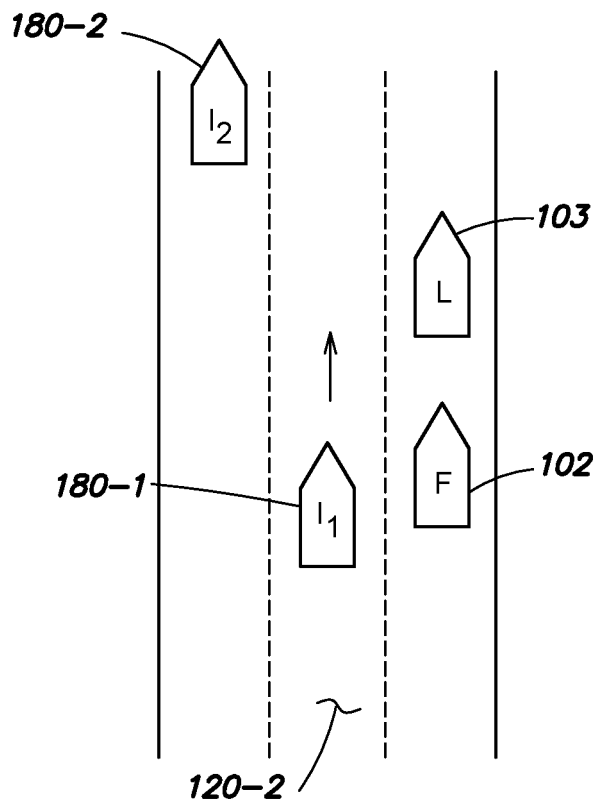


图 2F

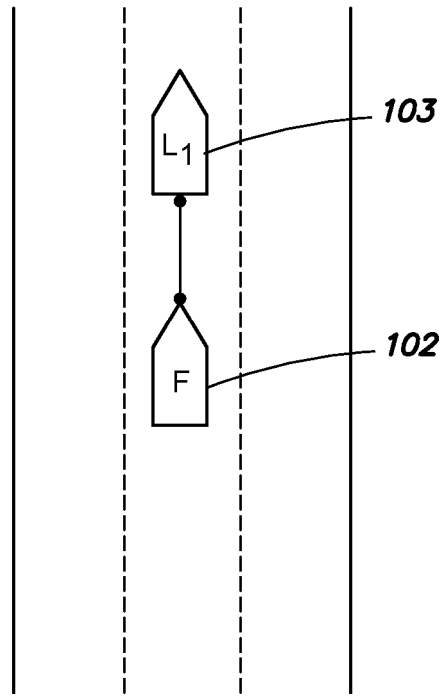


图 3A

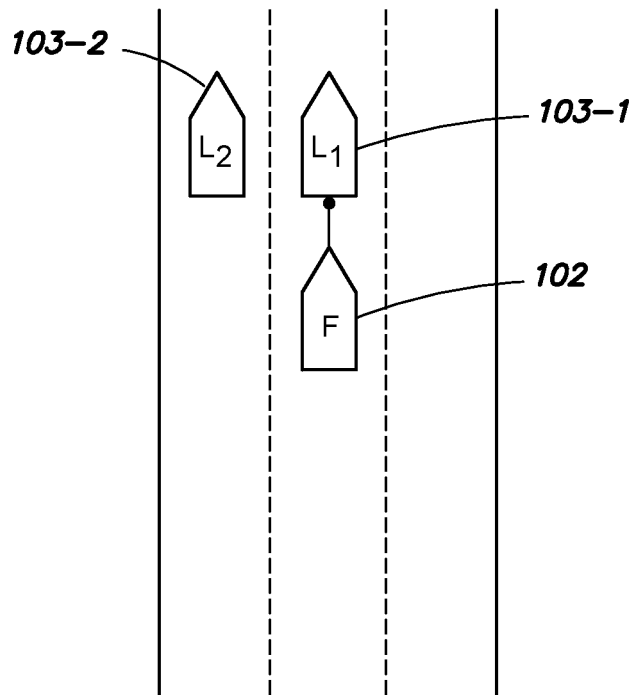


图 3B

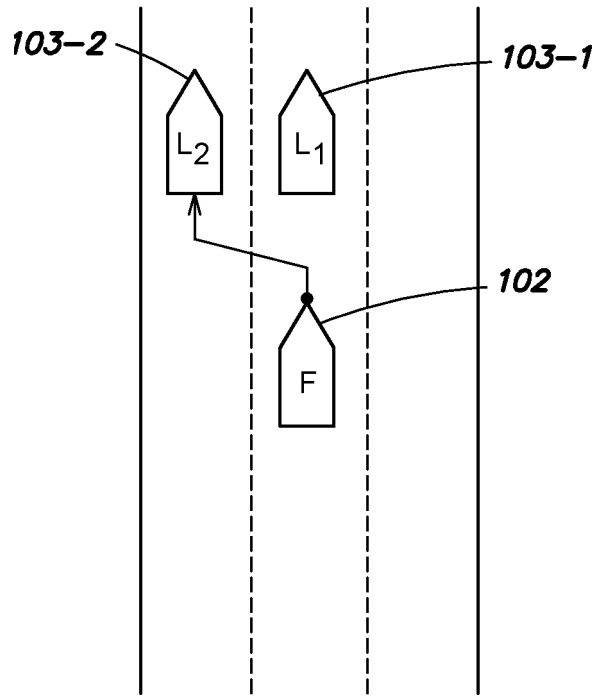


图 3C

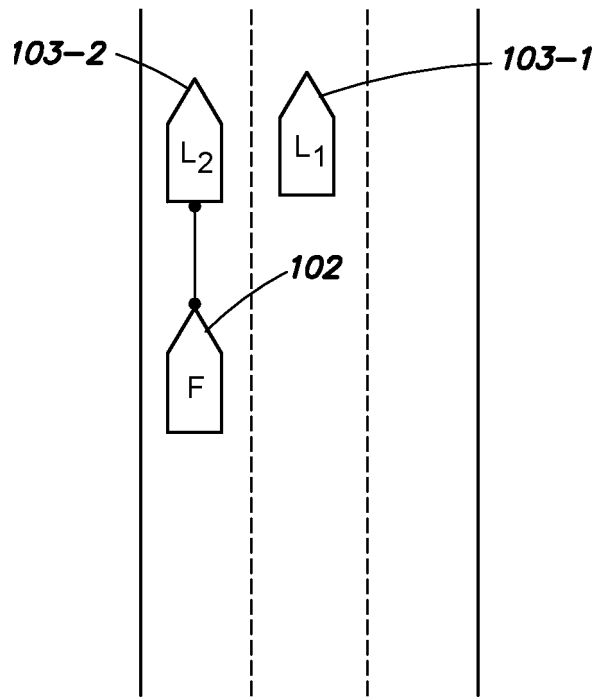


图 3D

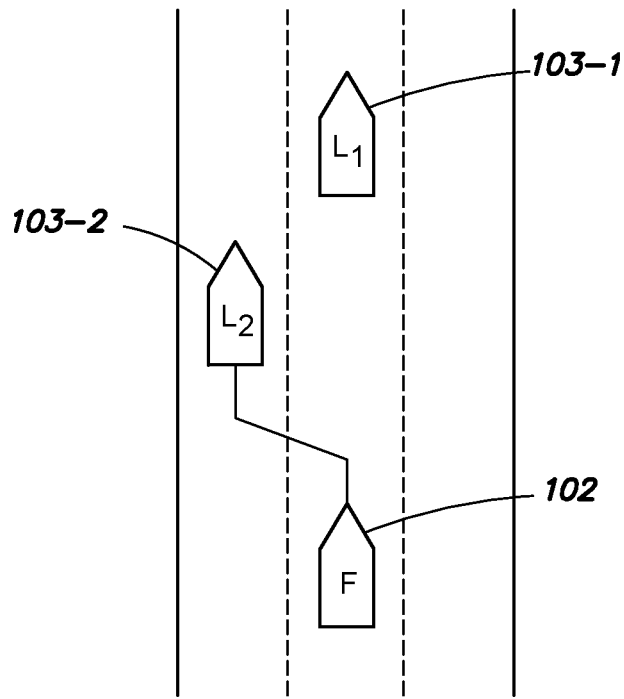


图 3E

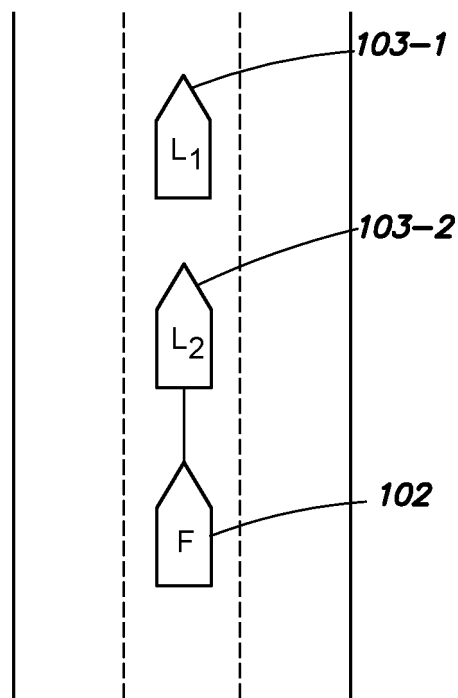


图 3F

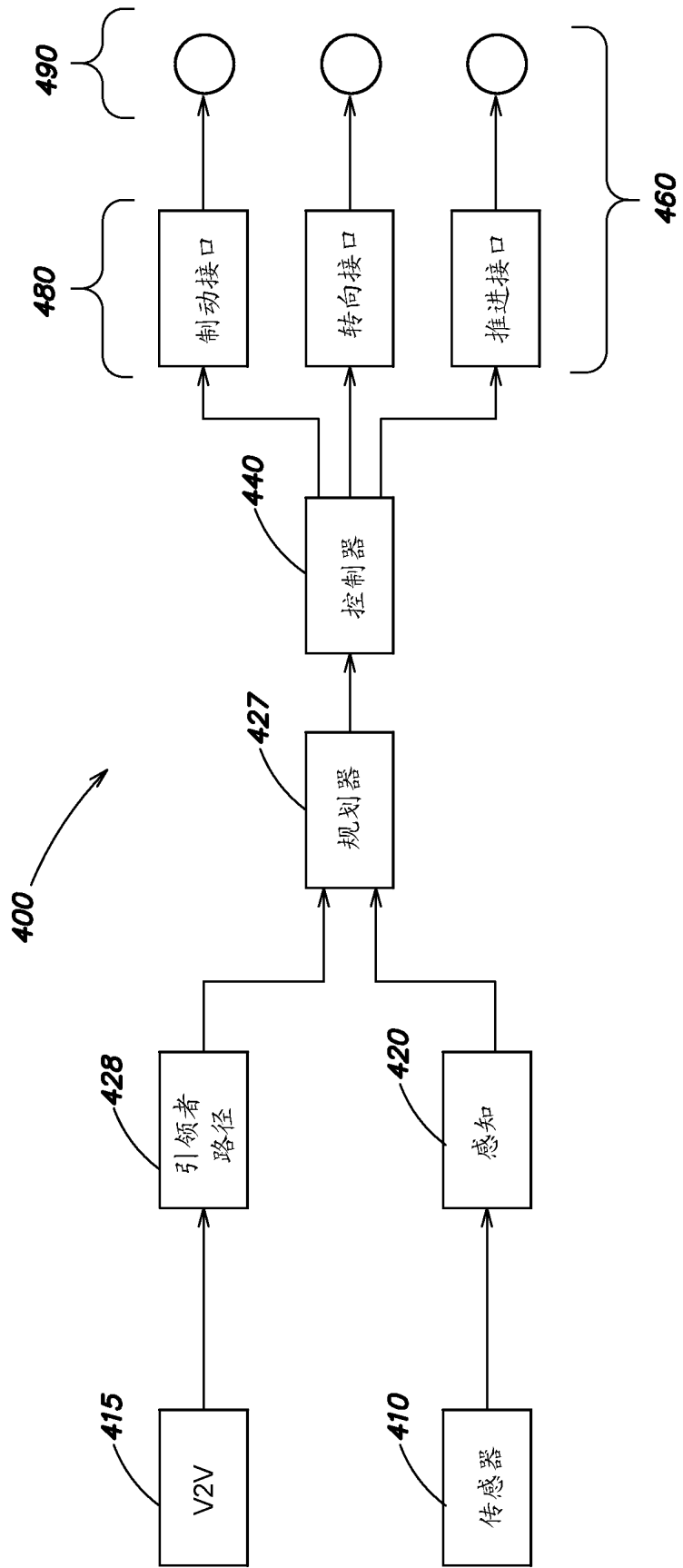


图 4

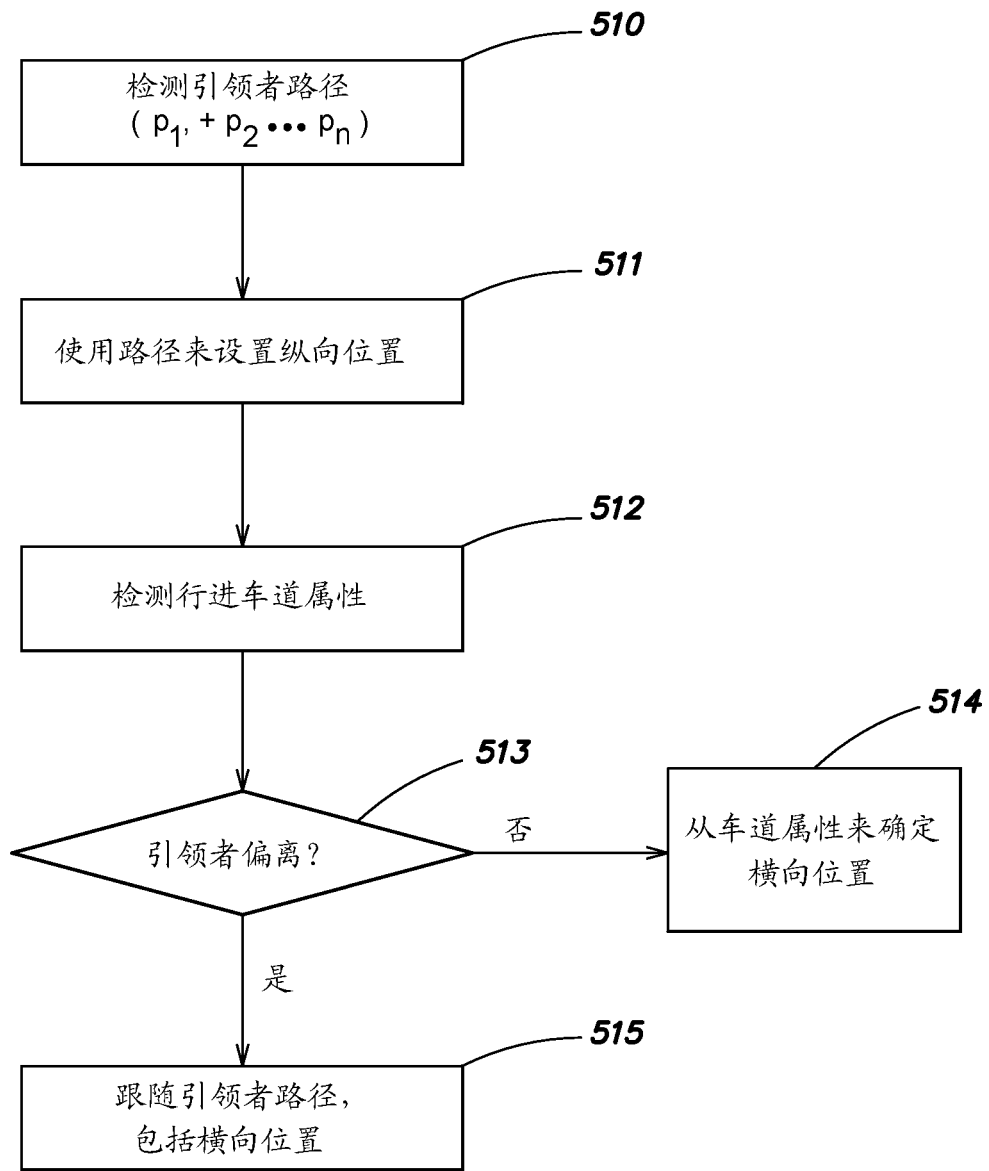


图 5A

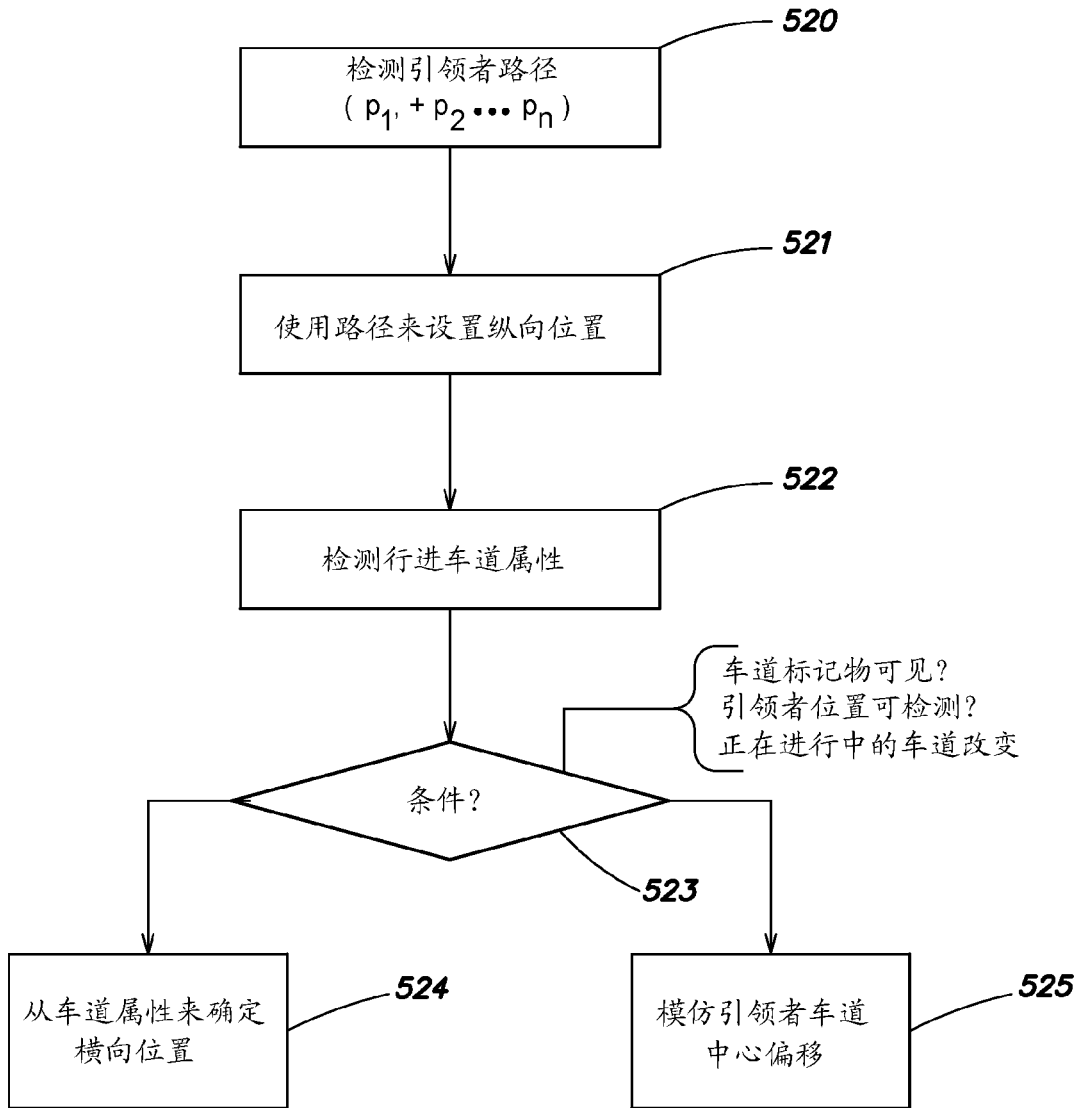


图 5B

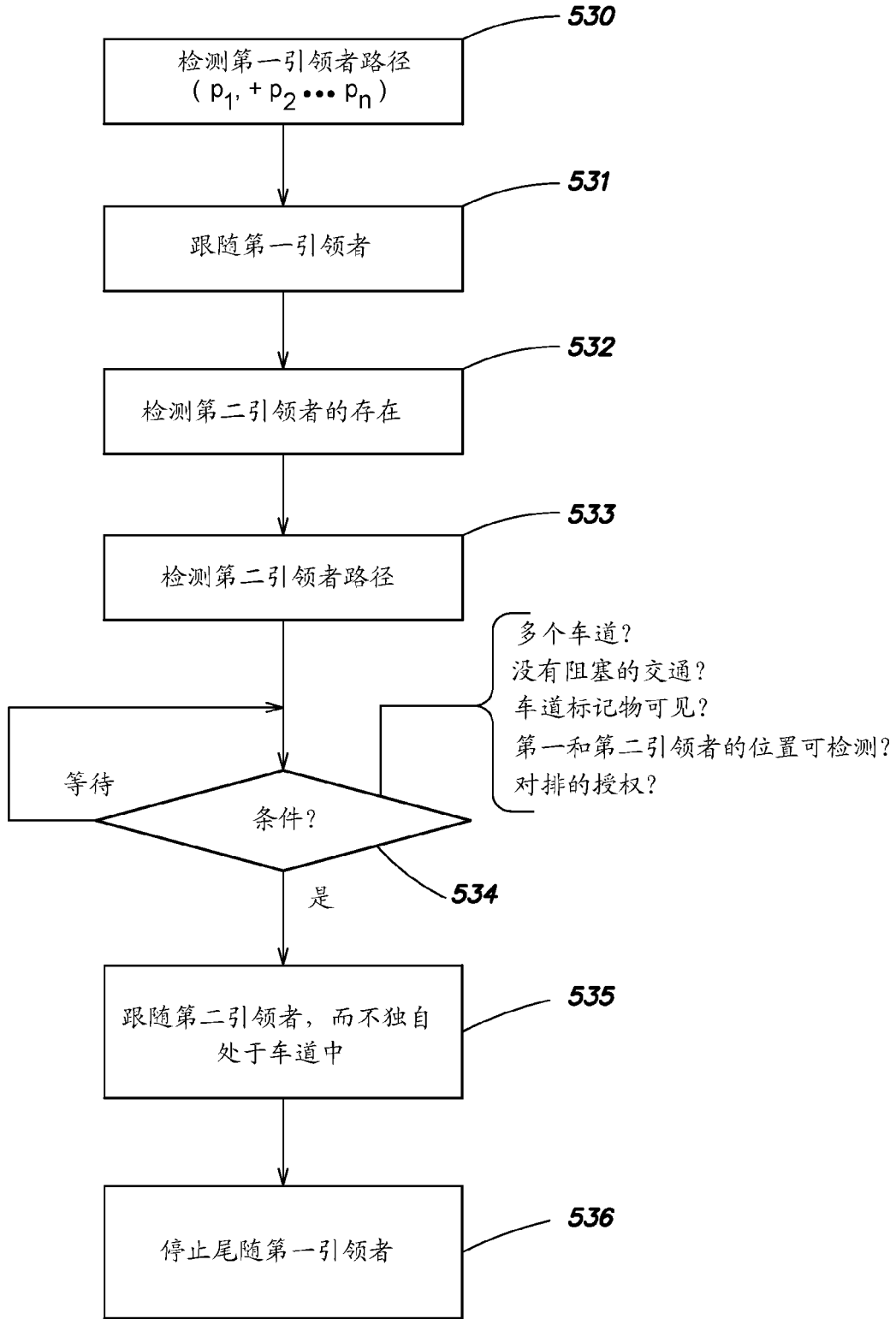


图 5C