



(43) 申请公布日 2022.07.29

R·文卡塔拉马南 A·J·凯利

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

专利代理师 浩路 吕传奇

62/915808 2019.10.16 US

(51) Int.Cl.

B60W 30/16 (2020.01)

B60W 30/165 (2020.01)

G08G 1/123 (2006.01)

PCT/US2020/055695 2020.10.15

W02021/076705 EN 2021.04.22

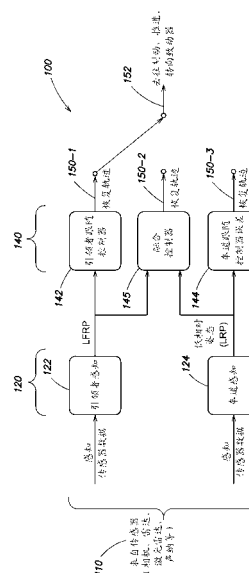
地址 美国宾夕法尼亚州

C·A·梅里克利

权利要求书2页 说明书20页 附图12页

基于视觉的跟随引领者横向控制器

用于操作正在跟随引领者交通工具的自主跟随者交通工具的技术。可以根据从传感器数据导出的引领者跟随者相对姿态(LFRP)来确定该跟随者要经历的期望路径。从目前引领者姿态、诸如向后或向前内插来沿着期望路径导出追踪姿态。因此,追踪距离不再需要与仅从LFRP导出的距离相同。这准许转向控制(横向位置)从满足安全性约束的要求中解放出来,该安全性约束如果不以这种方式则可能通过其他考虑因素(诸如,交通工具之间的纵向间距)而被强加。



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交通工具和跟随者交通工具,所述方法包括:

在所述跟随者处,

经由基于传感器的位置跟踪来检测所述引领者沿着路径的纵向位置,而无需与所述引领者通信或由所述引领者传送所述位置;

操作一个或多个交通工具控制输入,以使得所述引领者沿着所述路径到达相同纵向位置;以及

通过确定所述引领者交通工具上的参考点来控制所述跟随者沿着所述路径的横向位置,使得当所述跟随者到达每个纵向位置时,所述跟随者上的对应参考点最终也处于与当所述引领者位于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。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述参考点是从所述引领者交通工具的交通工具几何模型导出的。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述方法附加地包括:

检测所述跟随者目前不在所述路径上;以及

基于引领者-跟随者相对姿态来确定恢复路径。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中确定恢复路径的步骤进一步包括:

检测所述引领者的目前姿态;

通过凭借向后内插或向前投影从所述引领者的目前姿态进行外推,来沿着期望路径导出追踪姿态。

5. 根据权利要求4所述的方法,附加地,其中所述追踪姿态是与仅从所述引领者-跟随者相对姿态导出的距离无关的距离。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中控制横向位置的步骤进一步与交通工具之间的期望纵向间距无关。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述参考点取决于门到相机的相对姿态。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述参考点是所述引领者交通工具上的除了所述引领者的后门或其他可见组件之外的位置。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述参考点是从所述引领者交通工具的图像形成模型导出的。

10. 根据权利要求1所述的方法,附加地包括:

在所述跟随者处:

使用沿着所述路径的一个或多个车道标记物、隔栏和/或人行道边缘中的一个或多个进行检测,以提供车道相对姿态(LRP);

从一个或多个传感器来确定引领者-跟随者相对姿态(LFRP);

取决于状况选择性地从所述LFRP、或所述LRP、或所述LFRP和所述LRP两者的组合来确定所述恢复轨迹。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中所述状况是车道标记物、隔栏和/或人行道中的一个或多个不能够被足够可靠地检测到,并且然后进一步:

仅从所述LFRP而非所述LRP来确定所述恢复轨迹。

12. 根据权利要求10所述的方法,其中所述状况是车道标记物、隔栏和/或人行道中的

一个或多个能够被检测到,并且然后进一步:

仅从所述LRP而非所述LFRP来确定所述恢复轨迹。

13. 根据权利要求10所述的方法,其中所述状况是来自串行配置或并行配置或两个配置的某种组合的起始或停止。

14. 根据权利要求10所述的方法,其中所述状况是并行的停止,并且进一步包括,在所述跟随者处:

确定偏移路径,所述偏移路径从所述引领者所遵循的所述路径的至少一个位置横向地、或纵向地、或既横向又纵向地偏移。

15. 根据权利要求10所述的方法,其中所述LRP是从除了所述跟随者当前占据的车道之外的车道来确定的。

16. 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交通工具和跟随者交通工具,所述方法包括:

在所述跟随者处,

确定所述引领者沿着路径的位置;

通过使用一个或多个传感器以检测车道标记物、隔栏、人行道边缘、或行进车道的其他属性中的一个或多个来确定所述跟随者的行进车道;以及

选择性地通过跟随所述行进车道或者通过跟随所述引领者来控制所述跟随者的位置。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中当使用所述传感器不能够检测到所述行进车道时,则通过跟随所述引领者来控制所述跟随者的位置。

18. 根据权利要求16所述的方法,附加地包括:

从所述传感器中的一个或多个来确定所述引领者的车道中心偏移;以及

当不能够确定所述跟随者的车道中心偏移时,则通过跟随所述引领者来控制所述跟随者的车道中心偏移位置。

19. 根据权利要求18所述的方法,其中选择性地控制所述跟随者的位置的步骤进一步包括:

在第一状态下,从所述行进车道来控制所述跟随者的位置;

在第二状态下,从所述引领者的位置来控制所述跟随者的位置;以及

在第三状态下,从所述行进车道来控制所述跟随者的位置。

20. 一种自主半挂卡车,包括:

牵引车,其耦合到拖车;

驱动系统,其可操作以驱动所述自主半挂卡车,所述驱动系统至少包括转向控件;

一个或多个传感器,其对于所述自主半挂卡车是可访问的;

控制系统,其包括执行指令的处理资源,所述指令使得所述控制系统:

从所述传感器接收数据;

根据所述数据,确定引领者跟随者相对姿态(LFRP);以及

基于所述LFRP来操作所述控制系统。

21. 根据权利要求20所述的装置,其中所述控制系统被进一步操作,以便:

计算不是当前LFRP但是在期望路径上的追踪姿态。

基于视觉的跟随引领者横向控制器

[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,并且还要求2019年10月16日提交的序列号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。这些申请中的每一个的全部内容在此通过引用而并入。本申请还涉及与本申请在同一天提交的序列号17/071,105(代理案卷号3827-008U01)的题为“BEHAVIORS THAT REDUCE DEMAND ON AUTONOMOUS FOLLOWER VEHICLES”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] 在过去的几十年中,机器人领域的某些努力集中在当一个交通工具跟随另一个交通工具时提供对它的自主控制。理想情况下,自主跟随者交通工具应当与在它由人类驾驶时相同的方式来做出动作,从而遵守所有交通法规,并且始终以可预测的方式来做出行为。自动驾驶的目标包括增加安全性、减少拥堵和减少排放。

[0003] 当应用于诸如长途卡车运输之类的商用交通工具时,该目标还涉及能量节省和人员成本降低。因此,已经开发了用于沿着相同轨迹来操作卡车组的方法,其中在这些卡车之间只有短的间隙。这种所谓的排(platoon)或车队可以使用协作控制。它们可以通过将来自前视远程传感器的信息与从该卡车和它前方的其他卡车传送的附加信息进行组合来做出驾驶决策,所述前视远程传感器测量例如与紧接在前的卡车的距离和速度差。参见例如Tsugawa等人的“A Review of Truck Platooning Projects for Energy Savings”(IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Vol. 1 No. 1, March 2016, pp 68-77),以获得对若干个这种先前努力的回顾。

[0004] 涉及跟随行进车道的交通工具控制方面也已经被研究了几十年。例如,Huang等人在“Finding multiple lanes in urban road networks with vision and lidar”(Autonomous Robots, Vol 26, pp. 103-122(2009))中描述了一种用于从移动交通工具获取的校准视频图像和激光测距数据中检测和估计城市道路网络中的多个行进车道的性质的系统。该系统在多个处理器上实时操作,从而将检测到的道路标记物、障碍物和路缘(curbs)融合到附近行进车道的稳定估计中,该稳定估计可以用于引导交通工具。

发明内容

[0005] 这里描述的方法和装置适用于以队形(formation)行进的两个或更多个交通工具。跟随者交通工具使用非接触式“感知”感测(诸如,激光雷达、相机、雷达等)来直接感测另一个(引领者)交通工具的位置。然后,传感器数据可以用于导出确定该跟随者将如何做出行为的轨迹。只要通过感知产生的数据的聚合是足够的,就可以激活该方法和/或装置。

[0006] 更特别地,跟随者要穿越的期望路径可以根据所谓的引领者-跟随者相对姿态(LFRP)来确定,该引领者-跟随者相对姿态可以从传感器数据中导出。然而,不是单独使用

LFRP来确定将由跟随者实现的轨迹,而是可以通过从目前引领者姿态进行外推、诸如沿着期望路径向后内插或向前投影来从期望路径中导出追踪点(pursuit point)。在这种情况下,追踪距离不再需要与单独从LFRP导出的距离相同。

[0007] 当向后外推时,引领者交通工具在何处的存储器可以根据LFRP数据的历史和描述了其在地面上的最近运动的跟随者姿态数据而被重构。当向前外推时,可以使用对引领者运动的基于其最近历史的分析预测。

[0008] 诸如从引领者感知输入中导出的LFRP也可以与诸如车道感知输入之类的其他感知输入组合,以在跟随者的期望轨迹的定义中提供进一步的选择。例如,跟随者也可以使用一个或多个传感器来导出其自身的车道相对姿态(LRP)。LRP是跟随者相对于当前行进车道的中心的姿态或者相对于距左侧或右侧一个或多个车道宽度的某个其他车道、或道路边缘的姿态,包括它们相对于引领者交通工具的当前位置如何定向。

[0009] 因此,可能的是,单独基于车道感知输入(经由LRP)、或者基于引领者感知输入来确定引领者所遵循的路径(诸如,使用像LFRP那样的特定技术)、或者基于LRP和LFRP的某种平均或其他组合,从而定义跟随者的期望轨迹。

[0010] 关于使用哪一种的决策可以取决于检测到的状况,诸如车道标记物(或者隔栏或道路边缘)是可检测的(在这种情况下,可以单独使用LRP)还是不可检测的(在这种情况下,可以使用LFRP)。

附图说明

[0011] 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1是高级数据流程图。

[0012] 图2图示了恢复路径以及纯追踪和姿态追踪。

[0013] 图3图示了取决于跟随引领者的恢复路径。

[0014] 图4图示了取决于可调整追踪距离的恢复路径。

[0015] 图5A至5C图示了沿着直线路径的车道跟随的各种状态。

[0016] 图5D至5G图示了起始和停止场景。

[0017] 图6A和6B图示了沿着弯曲路径的车道跟随的各种状态。

[0018] 图7是实现本文中描述的方法和装置的电子系统的框图。

具体实施方式

[0019] 1. 介绍

随后的详细描述仅提供了示例实施例,并且不旨在限制所附权利要求的范围。因此,在不脱离所要求保护的的主题的精神和范围的情况下,可以在元件和步骤的功能和布置方面进行各种改变。

[0020] 如上所提及的,这里描述的方法和装置适用于以队形行进的两个或更多个交通工具。跟随者交通工具使用非接触式“感知”感测(诸如,激光雷达、相机、雷达等)来直接感测另一个(引领者)交通工具的位置。然后,传感器数据被用于导出确定该跟随者将如何做出行为的轨迹。该轨迹以各种方式来导出,其中一些方式可以取决于引领者和/或跟随者的当

前操作状况。然后,该轨迹被用于控制交通工具上的一个或多个致动器(诸如,转向、制动或推进)。在一个示例中,只要通过感知感测产生的数据的聚合是足够的,就可以激活该方法和/或装置。

[0021] 在典型的场景中,至少两个交通工具正在车队中行进,其中一个为引领者,并且一个是自主跟随者。引领者交通工具是一般远离跟随者交通工具移动的交通工具。作为结果,跟随者交通工具因此是一般朝向引领者移动的交通工具。在其他场景中,多个跟随者跟随一个最终引领者可能是有利的,但是其中每个跟随者认为紧接在其前方的交通工具是它的引领者。在仍其他场景中,在两个引领者之间转换(transition)的时间段期间,一个或多个跟随者可能识别出这两个引领者。

[0022] 现在回到典型的两交通工具场景,引领者和自主跟随者可以均是诸如半挂卡车之类的交通工具,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。

[0023] 实现交通工具控制的电子系统可以位于任一个交通工具或两个交通工具的牵引车和/或拖车中。电子系统可以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。在示例实现方式中,一个或多个传感器和/或一个或多个通信接口(诸如,无线交通工具到交通工具无线电链路)使交通工具意识到彼此的状态和状况,以使得(一个或多个)跟随者能够对引领者的方向和速度的改变做出响应。下面结合图1和图7更详细地描述了一个这样的示例系统。

[0024] 传感器可以包括视觉(感知)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。视觉传感器中的至少一些应当具有包括半挂卡车前方的(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拖车的每一侧横向延伸的侧部区域的视场,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或其他指示。

[0025] 自主跟随者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。规划器逻辑进而向控制逻辑提供输入,控制逻辑进而操作驱动系统的机械组件。驱动系统可以至少包括去往推进、制动和转向致动器的接口,这些致动器对由控制逻辑所提供的电气控制输入做出响应。控制逻辑也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] 图1是使用感知逻辑和控制器逻辑来导出一个或多个恢复轨迹的电子系统100的组件的一个实施例的示图。该方法使用感知逻辑120,感知逻辑120包括引领者感知逻辑122和车道感知逻辑124两者。引领者感知逻辑122或车道感知逻辑124或其两者的输出被馈送到控制器逻辑140。控制器逻辑140——其可以包括引领者跟随控制器142、车道跟随控制器144和融合控制器145——然后确定一个或多个要跟随的路线,这些路线被称为恢复轨迹150-1、150-2、150-3(在本文中统称为轨迹150)。恢复轨迹150中的所选轨迹152被选择(诸如,经由基于当前状况输入的加权)。所选轨迹152(其执行在本文中可以被描述为“机动”)进而导出去往交通工具上的(一个或多个)转向致动器160(和/或可能地推进和/或制动致动器)的输入。

[0027] 引领者感知逻辑122使用这些传感器输出110中的一个或多个来确定引领者-跟随者相对姿态(LFRP)的一些或全部分量。LFRP取决于引领者和跟随者的相对位置和/或姿态,并且可以用如下面更详细描述的那样若干种方式来确定。

[0028] 上面使用的短语“一些或全部”反映了如下实际现实:由于所使用的传感器的限制、或被感测对象的特性、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),姿态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。

[0029] 车道相对姿态(LRP)也可以由相同的传感器110或传感器110的一些不同子集来确定。如上面更详细解释的,LRP的一些或全部分量可以在任何时刻都是可观察的,并且本文中对姿态或位置测量的所有引用并不意味着暗示姿态的所有分量都有必要是可观察的。如下面更详细解释的,LRP是跟随者交通工具相对于当前行进车道的中心或者相对于距左侧或右侧一个或多个车道宽度的车道、或道路边缘的姿态,包括它们相对于交通工具的当前位置如何定向。例如,跟随者可能跟随来自邻近车道的引领者,在这种情况下,LRP将是跟随者相对于邻近车道的姿态。因此,“偏移(offset)”也可以在连续运动期间以及在起始/停止和本文中别处讨论的其他机动期间被应用。确定LRP的各种方式也在下面更详细地描述。

[0030] 如图1中所示,可能有若干个可能的操作模式。在一个模式中,第一恢复轨迹150-1由引领者跟随控制器仅使用LFRP来确定。在另一个模式中,另一个恢复轨迹150-2由车道跟随控制器使用LRP来确定。在又一个模式中,融合控制器145使用LFRP和LRP两者来确定第三恢复轨迹150-3。

[0031] 换句话说,可能的是基于车道标记物(LRP)、或基于引领者所遵循的路径(LFRP)、或基于两者的某种平均或其他组合来使交通工具转向。

[0032] 该方法可以是有价值的,因为它可以在如下情形中提供横向(例如,车道中心相对的)状态估计和(例如,转向)控制:

在其中期望其输出将以某种方式与转向主要(例如,车道跟随控制器)控制器的输出合并的辅助转向控制器的情形中。

[0033] 在其中现有车道标记物暂时地或持续地不足以安全操作自主交通工具的情形中。

[0034] 在其中从这种控制器执行的计算中为人类驾驶员导出警告信息将是有一——即使它目前不在它控制该转向的模式中操作——的情形中。

[0035] 不管纵向(速度)控制是如何进行的,都可以用上述方法来实现横向控制中的优

点。人类驾驶员或另一个不同的控制算法现在可以被用于纵向控制的目的。特别地,速度控制策略可以使用类似于自适应巡航控制的公知方法并且基于LFRP的纵向坐标中的误差来实现。

[0036] 2. 引领者跟随控制器142

基于对引领者和跟随者位置的感知来实现横向控制的方法或装置(诸如,引领者跟随控制器142)因此可以总体上描述如下:

跟随者交通工具上的非接触式引领者感知传感器(相机、激光雷达、雷达等110)被用于确定引领者-跟随者相对姿态(LFRP)的一些或全部部分。这是引领者交通工具相对于跟随者的姿态(位置和取向)。使用传感器以连续地确定在那些传感器的视场内的对象的姿态(位置和取向)的该过程将被称为基于传感器的位置跟踪。

[0037] 跟随者交通工具被转向从而使得跟随者交通工具行驶与引领者已经行驶过的路径基本上相同的路径。更精确地,这意味着跟随者交通工具上的指定参考点通过空间来跟随与引领者上的指定参考点已经行驶过的路径基本上相同的路径。

[0038] 在用于跟随引领者的一个实施例中,跟随者中的引领者-跟随控制器逻辑142执行使得跟随者随着时间会聚到引领者上并且从而跟随引领者的路径的任何转向策略。示例转向策略可以包括纯追踪、姿态追踪、可调整的追踪距离和其他转向策略。

[0039] 2.1 姿态追踪

一些可能的控制实施例可以被理解为关于更基本的转向策略的变型,该变型将被称为本文中在下面描述的“姿态追踪”。姿态追踪本身是被称为“纯追踪”的已知方法的推广(参见下面的参考文献[1])。纯追踪允许一个轮式交通工具跟随期望路径,同时适应车轮通常不准许侧向运动的事实。纯追踪是一种跟踪算法,该算法通过计算将使交通工具从其当前位置移动到某个目标位置的曲率来工作。关键是选择目标位置,该目标位置在期望路径上的交通工具前方的某个距离处。可以把交通工具想成追逐期望路径上在它前方某个距离处的点——它正在“追踪”那个移动的点。这种“前瞻(lookahead)”或“追踪”距离可以随着交通工具遵循道路的曲折(twist)和视觉遮挡而改变。

[0040] 虽然纯追踪并不试图使交通工具瞬时侧向移动,但是它确实会生成恢复路径,该恢复路径最终将使得跟随者交通工具在行驶短距离之后获取期望路径。它通过利用一种动物追逐另一种动物的数学类比来做到这一点。特别地,纯追踪控制器是转向策略,该转向策略连续地使跟随者交通工具朝向“追踪点”转向。该点在期望路径上,但是它始终保持在正在进行“追逐”的跟随者交通工具前方的某个距离(“追踪距离”)处。

[0041] 相反地,姿态追踪将追踪点推广到追踪姿态(换句话说,它附加地考虑了追踪点处的路径切线和/或曲率的方向)。当一个交通工具被标识为跟随者并且引领交通工具的姿态被用作追踪姿态时,姿态追踪成为跟随引领者(follow-the-leader)控制器的实施例。追踪距离于是与LFRP密切相关。更一般地,在跟随引领者中,引领者的路径(随着时间或距离被表达的位置、前进方向、曲率等的序列)利用期望路径来标识,并且追踪姿态可以是该路径上的任何适当选择的姿态,不管引领者目前是否占用该姿态。

[0042] 2.2 基本转向策略

转向策略可以比简单地“朝向”引领交通工具“转向”更先进。在另一个实施例中,使用明确定义的恢复路径,该恢复路径a)起始于跟随者姿态(在地面上),并且b)终止于追

踪姿态、或者接近引领者的姿态(在地面上)。恢复路径可以被设计成满足从追踪姿态导出的一个或多个约束,其中满足更多的约束被标示为更高的“连续性程度(degree of continuity)”。如果恢复轨迹是弧(低程度的连续性),则它可以始终在追踪姿态的位置处与该路径相交,但是它一般而言不能够达到追踪姿态的前进方向和曲率。

[0043] 恢复路径也可以是任意的和更一般的形式,包括附加地终止于追踪姿态的前进方向和/或曲率从而展现出更高程度的连续性的任何形式。

[0044] 一些实施例可以使用如下恢复路径:其几何形状对于跟随者交通工具的执行也是可行的。因此,换句话说,产生既可行又具有高精度连续性的恢复路径可能是有利的。

[0045] 2.3可调整的追踪距离

当使用纯追踪利用轮式交通工具来跟随期望路径时,还已知的是,在任何期望路径曲率处引发的横向误差通常强烈地取决于追踪距离[2]。相对短的距离可能引起振荡,但是相对长的距离可以使用“切割拐角(cut the corner)”的较低曲率近似来近似和执行期望路径上的高曲率的拐角或区域。

[0046] 然而,可能存在纵向约束(例如,停止距离),该纵向约束限制了可允许的追踪距离,并且从横向误差的视角来看,可允许的距离中没有一个可能是最佳的。因此,从(引领者交通工具的)期望路径中导出追踪距离可能是有价值的,但是该距离也既不是在任何给定时刻处距引领者的实际“视线”距离,也不是恢复路径的弧长。

[0047] 在另一个实施例中,通过从目前引领者姿态沿着其路径进行向后或向前外推,从期望路径中导出追踪姿态。在这种情况下,追踪距离不再与单独从LFRP导出的距离相同。

[0048] 当向后外推时,引领者交通工具在地面上处于何处的记录可以根据LFRP数据的历史和描述了其在地面上的最近运动的跟随者姿态数据而被重构。当向前外推时,可以使用算法,该算法基于引领者的最近历史和该交通工具如何移动的预测性模型来以分析方式预测引领者的运动。

[0049] 2.4隐式追踪点

当误差(即,在横向、前进方向和曲率误差方面跟随者交通工具与其期望路径的偏差)小时,还已知的是,可以避免追踪点的显式表示而有利于近似。实际上,如果道路车道具有 κ_{lane} 的曲率,并且横向误差是 y 且前进方向误差是 q ,则在跟随者前方的 L 距离处重新获取期望路径的弧具有曲率 κ_{PP} ,该曲率 κ_{PP} 由下式给出:

$$\kappa_{PP} = \kappa_{lane} + 2y/L^2 + 2*q/L。$$

[0050] 通过使用该公式作为其控制器的基础,跟随者可以调整被应用于前进方向和横向误差的有效增益,而无需显式地计算前瞻点。此外,可以通过简单地调整被称为 L 的量来调整距(隐式)前瞻点的距离。当 L 较小时,跟随者尝试在行进了比当 L 较大时的距离更短的距离之后重新获取期望路径。

[0051] 实际上,上面的公式仅仅是被应用于瞬时路径跟随误差的线性化状态空间控制器。它产生了弧作为校正轨迹,但是基于车道本身基本上是弧或者仅仅在短的前瞻距离上基本上是平滑的假设,更高水平的连续性也是可实现的。

[0052] 2.5实施例的其他控制策略和共同要素

任何数量的其他标准控制策略(不同于如本文所描述的基于LFRP的反馈)可以作为对本文中的基本方法的替代或补充而应用。这种策略包括使用层级结构、前馈、预测性建

模和优化、智能控制、观察器、自适应控制、鲁棒控制等。

[0053] 这些实施例的一个共同要素是使用(仅使用或主要使用)跟随者上可用的感测来执行任何形式的估计,该估计在完全基于跟随者的逻辑中组合了以下各项:

所测量的、所回忆的(remembered)、所内插的或所预测的跟随者相对于地面(道路)的运动,

所测量的、所回忆的、所内插的或所预测的引领者相对于跟随者的运动,

从而在跟随者中形成其路径跟随误差的显式表示或隐式理解,即其相对于引领者所遵循的路径的位置。

[0054] 这样做的主要目的是为了将距引领交通工具的距离(其不能够被选择以优化或满足路径跟随性能问题)与跟随者将使用的有效距离解耦(decouple),以便在连续的基础上计算恢复轨迹。

[0055] 引领者的路径和跟随者姿态是否利用地面固定坐标来表示、或者引领者的路径是否在跟随者坐标中表达可能是无关的。重要的是,跟随者知道它在多大程度上没有跟随引领者的路径。用于表达该路径跟随误差的两个实施例可以是:(a)前瞻点(或姿态)、或(b)状态空间中的误差向量的内容。原则上,当跟随者相对于期望路径移动时变化的任何一个或多个量都可以用来表示跟随误差。

[0056] 2.6其他约束和目标

在一些场景中,对于引领者跟随控制器142而言,考虑除了路径跟随误差之外的其他事项可能是重要的、有价值的或有必要的。

[0057] 在一个场景中,跟随者被对象所包围,这些对象在连续、瞬时或间歇的基础上造成了碰撞的风险。例如,界定了高速公路施工区中的暂时车道的新泽西式隔栏连续地在跟随者附近,行人、停放的汽车、动物或施工交通工具可能瞬时在附近,并且其他交通间歇性地出现。

[0058] 在这些情况中的许多情况下,跟随者的(一个或多个)运动规划和控制任务可以被定义为强加(impose)以下附加项的任意组合:

必须遵守的约束(如不与新泽西式隔栏碰撞),或

必须追求的目标(如保持离附近的交通尽可能远)

以及一次追求所有目标同时还满足自主交通工具领域中已知的约束的技术。

[0059] 2.7与引领者路径的偏移

给定引领者感知逻辑122从跟随者上可用的感知和运动数据来构造引领者路径的能力,许多其他实施例是容易实现的,并且它们使得能够实现有用的行为。

[0060] 若干个有用的行为设想到多个交通工具,其中跟随者交通工具正在跟随故意地从它们相应的引领者路径偏移的路径。该场景中需要的要素包括:

定义期望路径的能力,该期望路径以期望的方式与引领者路径偏移。这可以通过允许向引领者路径上的所测量或外推的点的左侧或右侧(即,横向地)或向前或向后(即,纵向地)导出新的路径点来实现,这些点潜在地包括起点和终点。在其他行为中,通过既在纵向方向和横向方向两者上将它们稍微偏移来导出新的路径点也可能是有用的。

[0061] 这并不暗示着路径有必要在引领者跟随控制器142或感知逻辑122或实施例中的任何别处被表达、表示或操纵为点。可以使用连续曲线(例如,曲率多项式)、独立变量区间、

样条或其他路径表示。然而,在下面的讨论中使用点作为向读者描述路径可以如何被偏移的手段。

[0062] 其中将引领者路径偏移可能有一个示例是在其中车道改变机动已经在如下意义上失败的场景中:即,跟随者发现自己独自在其车道中,并且它必须保持跟踪邻近车道中的引领者并且保持在它后面,直到该情形被解决。又一个示例是其中车队正在形成或者新的引领者已经到达其预期跟随者附近的场景。在这种情况下,跟随者跟随邻近车道中的引领者同时保持在它后面可能是有价值的。

[0063] 2.8停止和起始轨迹

除了基于将引领者路径偏移的上述行为之外,若干个其他有用的行为设想到多个交通工具,这些交通工具或者以某种队形从静止(rest)起始并且然后形成车队,或者也许在车队中起始并且变得在某种期望的静止队形中静止。在这种场景中需要的要素包括:对交通工具正在连续地移动的任何假设的消除。这可以通过以期望的速度修饰(embellish)路径点来实现,该速度可以为零。

[0064] 考虑如下情况:其中引领者变得在高速公路休息站、称重站、收费站中、高速公路的路肩上、或出口匝道的一侧停止,如图5D中所示。跟随者502可以检测到或被引领者503告知该即将到来的停止,并且它可以选择或被引导以变得在引领者后面停止(串行队形)。在这种情况下,跟随者计算或者被提供有跟随者的停止点 $P'stop$ 的位置,该位置是从引领者的预期停止点 $Pstop$ 导出的。跟随者的停止点可以简单地是内插的追踪点,该追踪点被定位在引领者路径上的引领者停止点后面的串行停止间隔处,或者它可以被定位在引领者正后方的串行停止间隔处。一旦跟随者502知道它应该停止,它就逐渐地改变其追踪距离和其速度,使得它变得在跟随者的停止点处停止。

[0065] 相反地,相对的情况是如下情况:其中引领者交通工具开始移动,而最初静止的跟随者继续用其传感器跟踪引领者的运动,直到它认为自己准备好,或者它被指示开始跟随。

[0066] 这种串行起始机动在图5E中示出。在这种情况下,跟随者502可以检测到或被引领者503告知车队不久将开始移动。在这种情况下,跟随者可以在其开始移动之前等待,直到引领者被定位在串行起始间隔处。这种间隔可以用任何方便的方式来测量,无论它是视线距离还是沿着引领者路径的距离。

[0067] 图5F示出了并行停止机动。在这种情况下,跟随者502可以检测到或被引领者503告知该即将到来的停止,并且它可以选择或被引导以变得在引领者旁边停止(并行队形)。在这种情况下,跟随者502计算或被提供有跟随者的停止点 $P'stop$ 的位置,该位置是从引领者的预期停止点 $Pstop$ 以及也许从紧接在其之前的一些其他点导出的。这些偏移引领者路径点514(该图中示出了两个额外的点)用于在引领者503停止之前立即向引领者跟随控制器142告知引领者路径的形状。

[0068] 这些偏移引领者路径点514被偏移的事实将使得引领者跟随控制器142生成校正轨迹,以使跟随者转向从而跟随偏移路径。

[0069] 跟随者的停止点 $P'stop$ 可以简单地是内插追踪点,该内插追踪点被定位在引领者路径上的引领者停止点 $Pstop$ 后面的串行停止间隔处,或者它可以是定位在引领者正后方的串行停止间隔。一旦跟随者502知道它应该停止,它就逐渐地改变其追踪距离和其速度,使得它变得在跟随者的停止点 $P'stop$ 处停止。

[0070] 图5G中示出了并行起始策略。在这种情况下,跟随者502可以检测到或被引领者503告知车队不久将开始移动。在这种情况下,跟随者可以在其开始移动之前等待,直到引领者定位在串行起始间隔处。这种间隔可以用任何方便的方式来测量,无论它是视线距离还是沿着引领者路径的距离。

[0071] 应当理解的是,上面讨论的四个起始和停止轨迹是其中引领者路径的偏移在横向或纵向方向中的仅一个上出现的示例。当然,可以类似地生成从任意相对定位而起始和停止的机动,包括并行停放、垂直停放和倾斜停放的机动,并且它们可能是有用的。一般而言,引领者的路径点可以包括取向信息(即,姿态),或者这种取向信息可以从路径切线方向导出。在这种情况下,甚至可以定义引领者与跟随者路径姿态之间的角度偏移。

[0072] 只要引领者路径上的点可以被表达(显式地或隐式地)并且被适当地偏移,在停止和起始轨迹的任何时刻处使用的横向控制纪律(discipline)就可以是上面讨论的纪律的任何组合。例如,引领者的车道中心偏移的测量可以以略微大于交通工具宽度而偏移,并且距引领者的视线距离的测量可以被转换成地面固定坐标,并且以大于交通工具长度而偏移。

[0073] 上面描述的基本路径跟随场景可能足以生成跟随者的适当行为,也许通过约束来增强,以避免在恢复引领者的路径或引领者的路径的偏移版本时与附近的对象碰撞。然而,存在两个其他实际的考虑:路径不连续性和引领者碰撞避免。

[0074] 考虑第一个路径不连续性。如果横向控制纪律不能够容忍引领者路径点的大幅度横向移位,则可以有意地在过渡区域515中使这些点的偏移平滑化,以消除任何这种不连续性。在图5F中针对一个轨迹图示了这种区域,但是这种平滑化可以在给定有效的(一个或多个)横向控制纪律的特性的情况下被用在其有必要的任何地方。

[0075] 考虑下一个碰撞避免。在一个实施例中,跟随者502的固有障碍物避开能力将在跟随其预期路径时避免任何这种碰撞,因为引领者可以被视为只是另一个要避开的障碍物。在另一个实施例中,控制交通工具运动的定时,使得碰撞被规避。例如,在上面的示例中,当跟随者等待、直到引领者处于并行或串行起始间隔处时,就是这种情况。在又一个实施例中,以跟随者路径固有地避免碰撞的这种方式来导出交通工具的路径。在这种情况下,引领者和跟随者路径在几何上不会重叠。例如,在图5F中,偏移引领者路径点514延伸得在引领者503后面足够远,使得跟随者502从来不会变得太接近引领者503。

[0076] 2.9感知和建模实施例

如上面所解释的,引领者感知逻辑122负责测量引领者-跟随者相对姿态(LFRP)。现在将更详细地描述用于这样做的方法。

[0077] 图像形成模型(MIF)可以用于确定LFRP或LRP中。为此,可以分别地或以任何组合来使用多种传感器模态。例如,从[3]已知的是,相机可以用于从另一个交通工具的图像中提取方位信息,并且激光雷达和雷达可以用于提取距离和方位信息。

[0078] 所使用的测量方法可以或者可以不采用跟踪器(例如,诸如参考文献[4]中的KLT跟踪器)来提高其效率和鲁棒性。还可以使用卡尔曼滤波器或其他估计器,特别是如果帧之间的相机的运动的测量是可用的和/或期望估计这种运动的话。在任何情况下,为了确定LFRP,首先在图像(更一般地,数据帧)中标识对应于引领者的传感器像素的区域的一些属性,并且基于将图像形成模型(MIF)反转来计算引领者的相对姿态,该图像形成模型可以表

达那些属性将如何取决于LFRP。将MIF反转的意思是反转的MIF可以表达LFRP将如何取决于那些属性。所述属性可以例如是在像素(时刻)的整个区上积分的区域的性质,或者该区域内部或区域边界上的强度或深度的边缘,或者所预测区域与所测量区域的互相关的峰值,或者取决于LFRP的任何其他可观察的属性。

[0079] 类似地,为了确定LRP,可以计算对应于车道标记物的(一个或多个)像素区域或车道标记物之间的(一个或多个)空间的任何合适地LRP相关且可观察的属性。然后,图像形成模型可以用于确定车道标记物的几何形状(例如,曲率),和/或车道标记物相对于交通工具的位置和取向,或者等效地,车道中心相对于交通工具的位置和取向,或者等效地,交通工具相对于车道的任何部分的位置和取向。

[0080] 2.10交通工具几何模型的使用

精确地说,为了让一个交通工具跟随另一个交通工具,优选精确地指定了跟随者上的哪个“参考”点要精确地跟随引领者上的哪个“参考”点。为了方便,通常选择阿克曼转向交通工具(如汽车)的后轴(rear axle)的中心,但是任何种类的交通工具上的参考点位置的任何其他选择可以是优选的。

[0081] 在实践中,简单的MIF将取决于引领交通工具的可见(对传感器可见的)部分相对于跟随者上的传感器的姿态。在另一个实施例中,MIF还计及了:

a) (一个或多个)传感器相对于跟随者参考点的姿态,并且它还计及了:

b) 引领者的可见表面相对于引领者参考点的姿态。例如,即使当唯一可用的图像是拖车的后门时,利用牵引车-拖车的几何形状的知识来导出除了引领者拖车的后门之外的参考点(诸如,引领者牵引车的后轴)也是可能的。

[0082] 2.11运动学转向模型的使用

交通工具的后轮(以及因此可见的后表面)通常跟随朝向转弯中心偏移的路径。这种“偏离轨道(offtracking)”的偏移以相当可预测的方式取决于曲率和运动的其他方面[5]。因此,另一个实施例可以优选地基于a)可见的引领者表面的姿态、以及b)引领者的几何形状和它的偏离轨道如何取决于曲率两者的模型来确定引领者参考点的姿态。

[0083] 2.12车轮滑移模型的使用

类似地,另一个实施例可以补偿由转弯的横向加速度或诸如风速或其他扰动之类的等效扰动影响引起的车轮滑移。这种补偿可以用于调整跟随者所使用的恢复轨迹、或调整用于找到追踪姿态的引领者运动外推/内插过程(如下所描述)、或其两者。

[0084] 2.13具有可调整追踪距离的引领者跟随者相对姿态(LFRP)

通过参考图2同时还仍参考图1,对姿态追踪和纯追踪的理解帮助了领会引领者跟随者相对姿态(LFRP)意味着什么。图2图示了其中单个交通工具202当前偏离期望路径294的情形200。交通工具中的感知逻辑120正在执行姿态追踪或纯追踪206,其中控制器140具有针对期望路径204的形状的某种感测。

[0085] 期望路径204可以从视觉传感器(例如,那些在道路上向前看和/或向侧面看和/或向后看的传感器)来确定,或者它可以是预先从某个其他源(诸如,路线规划器)接收到的期望路径信息。除了知道期望路径204之外,轨迹规划器还具有针对当前交通工具的状态——其重要分量是其位置和取向(也被称为其“姿态”)——的感测。换句话说,用于确定纯追踪或姿态追踪轨迹的两个输入可以是期望路径204和相对于该路径的当前位置210和取向

212。

[0086] 这种使用恢复路径208的方法实际上适应了如下事实：即，典型交通工具的车轮不准许侧向运动，而是通过取而代之朝向期望路径上向前的点直接转向。

[0087] 在诸如图3中所示的情形300中，追踪点/姿态206和恢复路径208的确定变得有点更复杂，我们将该情形称为“跟随引领者(Follow the Leader)”。在该情形中，当跟随者交通工具310和引领者交通工具两者在移动时，跟随者交通工具310被派任务以加入引领者交通工具的路径。当跟随引领者303时，任何时刻处的期望路径304由引领者303直到目前为止的实际路径312和其未来路径的预测314组成。这里，追踪点/姿态306随着时间稍微不可预测地改变(它取决于引领者303的行为)，并且因此，当两个交通工具302、303移动时，也应当周期性地对恢复路径308进行调整。在涉及机动交通工具的一个场景中，可能合期望的是以每秒100次的速率来重新计算追踪点/姿态306。每个计算确定了恢复路径308(由虚线表示)基本上是对应于固定转向角的弧。跟随者302中的控制器(例如，引领者跟随者控制器142)因此保持将转向角设置为等于从当前姿态310行进到追踪点/姿态点306所需要的任何角度。以这种方式，跟随者交通工具将最终以期望姿态(例如，与引领者303的姿态相同)在期望路径304上行进。

[0088] 图4是用于确定轨迹的另一种方法400，其具有一些优点，我们称之为可调整的追踪距离。这使用引领者403的位置作为用于确定恢复姿态的起点。然而，我们称之为外推追踪点的另一个点426是基于从引领者的当前位置406的内插或外推来确定的，该内插或外推诸如通过在期望路径404上向前或向后移动。利用该方法，跟随者402从使用与距引领者的距离相等的追踪距离中被解放出来，并且可以取而代之使用更任意的追踪距离，尽管如此，该更任意的追踪距离仍然与期望路径404上的姿态相关联。

[0089] 在图4中所示的示例中，所外推的(或相应地内插的)追踪点426被选择为引领者403向前(或相应地向后)的位置。当然，该追踪点426也随着引领者402移动而移动。追踪点426然后可以用于确定如何调整跟随者402的转向输入。

[0090] 图4中的示例还示出了使用高程度连续性恢复路径430的选项。在所示的示例中，这种类型的恢复路径如果被完全地执行则产生如下一系列转向输入：这些转向输入在开始时更急剧(例如，在该示例中朝向左侧更急剧)，但是然后变得渐近于期望路径404，因为跟随者402更接近地采取与引领者403相同的取向。实际上，恢复路径404没有被完全地执行，因为它以高速率被重新计算。示例路径中的转向输入经过零转向角的点，并且当跟随者403会聚到期望路径404上时甚至变得略微朝向另一个方向(即，朝向图4中的右侧)。因此，转向输入中的变化得到了恢复路径430加入期望路径404的地方的高程度连续性，这与当转向恒定时使用图3的纯追踪方法将会经历的较低程度连续性路径432相反。

[0091] 因此，在该方法400中，跟随者402不仅导出(或被给予)期望路径404，而且还确定所外推(或内插)的追踪点426，该追踪点426恰好在引领者403在该时刻处于该路径404上的地方的前面或后面。还要再次注意，跟随者402不会行驶任何周期性计算的恢复轨迹的整个长度。它仅沿着它们中的一小段行驶，并且然后利用新的外推追踪点426或姿态来周期性地重新计算新的恢复轨迹。

[0092] 追踪点426(无论是所外推的还是内插的)应当基于操作状况被“适当地选择”。例如，如果追踪点426太接近引领者403，那么它可能使得跟随者402的动作变得不稳定。这里

的适当性将取决于(一个或多个)交通工具的机动性(maneuverability),这部分地取决于轮胎磨损和道路状况、以及沿期望路径的任何转弯的急剧性(侵略性)的程度。

[0093] 考虑所实现的高程度连续性路径430的优点。将注意力返回到图3,要注意的是,恢复路径303是弧。如果跟随者交通工具302简单地跟随该弧并且使其一直到达追踪点306,则跟随者实际上将指向稍微错误的方向(在图3的示例中,太靠左的方向)。因此,图3中的恢复路径308与期望路径304具有低程度的连续性,因为跟随者302现在必须执行急剧右转弯以指向正确的方向。将其与图4的高程度连续性的情形进行比较,其中当两个曲线(即虚线和实线)会聚时,随着跟随者402倾向于更接近追踪点426,也倾向于更接近地在期望的正确方向上行进。

[0094] 应该注意的是,跟随者402不“直接”朝向引领者403转向,因为引领者与跟随者之间的距离可能更好地通过关于碰撞、制动距离、燃料效率和其他优先考虑因素的安全性和经济问题所管控。通过将跟随者402正在朝向其转向的点与引领者的实际位置进行分离(即,通过选择所内插或所提取的追踪点426,该追踪点426不一定是引领者403所在的地方),现在可能的是将交通工具之间的纵向间隔控制为其从燃料效率的视角来看是最佳的,而同时将该追踪点426的距离选择为从控制平滑度的视角来看是最优的。

[0095] 换句话说,将对距追踪姿态的距离的控制与对距引领者的距离的控制解耦准许“距引领者的距离”需要通过除了“转向控制器的最佳性能”之外的关注点来实施。

[0096] 在一些实现方式中,感知逻辑可以使用图像形成模型(MIF)来确定引领者相对于跟随者的当前姿态(LFRP)。例如,给定从跟随者上的相机取得的引领者的(一个或多个)后门的图像,感知逻辑可以将MIF“反转”,如上所描述的那样。这被称为门到相机的相对姿态(door to camera relative pose)(DCRP)。可以通过以下方式将DCRP转换成LFRP:(a)计及引领者牵引车相对于其(一个或多个)门的位置、以及(b)计及跟随者相机相对于跟随者的牵引车的位置。

[0097] 在其中引领者是牵引车-拖车的情况下,可能合期望的是使用作为除了拖车后门之外的某个位置(诸如,牵引车的后轴)的参考点。在该实例中,由于视图中的唯一对象可能是拖车的后门(其不是实际的参考点),因此将需要附加的变换来确定后门的位置与引领者上的参考点如何不同。例如,因为牵引车-拖车在第五轮处铰接,并且如果引领者参考点是牵引车的后轴,则图像形成模型还应当确定引领者的牵引车和拖车何时以除了直线之外的方式被铰接,以便补偿转弯期间发生的偏离轨道。

[0098] 为了实现转弯,任何交通工具的车轮将变形(即使是非常轻微的变形),这意味着车轮倾向于朝向转弯外侧偏转某个小的量。这种由于横向加速度所致的侧向滑移与该交通工具多重无关。在确定引领者的姿态或控制跟随者的运动时,车轮滑移也可能是考虑因素。

[0099] 考虑其中引领者正在何处跟随特定的弯曲路径。如上面已经解释的,还要考虑到由于牵引车和拖车的铰接,引领者的后门的确切路径将不同于牵引车后轮跟随的路径。给定车轮滑移的模型,引领者的偏离轨道可以在其发生时被补偿,以便根据其后台的姿态更好地确定引领者参考点的姿态。

[0100] 车轮滑移的模型(其可以是MIF的组件或感知逻辑的某个其他方面)也可以帮助跟随者更精确地控制其运动。当跟随者期望执行弯曲路径时,跟随者轨迹可能要求更多一点的转弯角,因为无论施加什么输入,在现实中实际上实现的将会更少。针对滑移的补偿量可

能取决于许多因素,诸如转弯有多急剧,或者交通工具移动得有多快,以及(一个或多个)交通工具的相对机动性。

[0101] 风是可以针对其进行调整的另一个因素。一般而言,牵引车拖车的人类驾驶员将在大风状况下减速或者甚至停止操作,尤其是在拖车空载的情况下。但是风的影响可以用与刚才描述的横向加速度示例相似的方法来处置。如果该状况能够被检测到(诸如,经由皮托管(pitot tube),或者通过检测引领者位置相对于其车道的摇摆的视觉系统,或者通过从无线接口接收天气报告,等等),轨迹规划器可以以适当的量来过度转向(oversteer)或转向不足(understeer),以使路径跟随误差倾向于消失。并且如果规划器检测到跟随者没有实现预期校正,则可以推导出某种外部扰动正在发生。

[0102] 3. 车道跟随控制器144

3.1 概述

在一些实施例中,如由车道感知逻辑124所提供的道路上的标记物(或其他标记,诸如新泽西式隔栏、交通锥、道路边缘等)可以由车道跟随控制器144使用以辅助跟随者来选择、尝试或期望保持在其当前或预期行进车道的车道标记物之间,同时还跟随引领者的路径。

[0103] 如本文中别处所描述,这种车道跟随行为可以被暂停,并且当引领者改变车道时,跟随者可以选择简单地跟随引领者的路径(即,仅使用引领者跟随控制器142)。在这种情况下,引领者的路径可以依据引领者在道路上的路径、引领者相对于跟随者的路径、或引领者相对于车道标记物的路径来定义。

[0104] 如由融合控制器145所使用的将与车道标记物(如由车道感知逻辑124所确定)和引领者路径(如由引领者感知逻辑122所确定)相关联的相对权重可以随着状况改变而随时间改变。例如,如果引领者正在驶向即将到来的出口匝道,则融合控制器145可以相对于左车道标记物将引领者路径(和右车道标记物)加大权重,并且左标记物将最终消失。相反地,如果引领者没有驶向即将到来的出口匝道,则融合控制器145可以相对于引领者路径将最右车道标记物降低权重,因为该标记物最终将突然变向离开(veer off)高速公路。类似的评述适用于车道分叉和合并的地方,或者适用于其中正确运动是引领者故意地不跟随其他相关车道标记物的运动的任何情形。

[0105] 因此,车道跟随控制器144可以利用任何技术来开发被馈送给(一个或多个)控制器140的车道相对姿态(LRP)。一种具体的方法是让跟随者跟随引领者的路径,同时还使用可用的车道感知输入来观察车道约束。

[0106] 3.2 具有车道跟随的引领者路径检测

在图5A中所示的一个示例中,跟随者(F)502检测或获得关于引领者(L)503沿着地面已经遵循的路径504的信息(或者通过直接从引领者接收该信息,或者通过使用其自己的传感器在本地导出该信息)。跟随者(F)争取保持在该路径上,同时保持在同一车道中。该路径可以由一系列位置 $P_n, P_{n+1}, \dots, P_m$ 或以其他方式定义。

[0107] 这些位置然后被用于控制跟随者502,诸如用于导出与引领者503的期望纵向间距。然而,车道跟随控制器144实现跟随者502的横向控制,即,控制其横向于道路510的相对位置(例如,其相对于车道的位置),该相对位置取而代之由车道标记物512约束。因此,应该理解的是,车道内的横向控制与控制引领者503和跟随者502之间的间距或间隙(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。交通工具车队通常强加间隙约束、或引领者与跟随者之间的最小距离。这里,间隙约束可以在转弯期间被适当地定义,以准许跟随者保持在引领者已经经历(traverse)的相同车道中,但是至少暂时地保持在离引领者更短的视线距离处。这可以使得跟随者502更容易遵守车道纪律,诸如通过使用视线距离来消除跟随者503在越过弯道时加速并缩小与引领者502的间隙的倾向。

[0108] 如同引领者感知逻辑122一样,引领者的路径504可以用若干个方式来确定。引领者正在遵循的路径可以是由引领者通过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504也可以在没有来自引领者503的输入的情况下由跟随者502确定,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。基于这种信息,跟随者502可能有兴趣确定引领者503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503相对于引领者503的车轮附近的车道标记物512的横向位置的任何组合。

[0109] 因此,跟随者502有兴趣确定并使用其自己相对于其自己车轮附近的车道标记物512的位置。这种位置可以由位于跟随者502上的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502前方、后方或侧面的道路上的车道标记物512。车道标记物512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。这种特征可能包括人行道的边缘、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。

[0110] 一般而言,跟随者502保持在与引领者503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502在不具有始终基本上定位在其前方的引领者503的情况下从不操作,但是存在其中两个交通工具在车道之间操作的情况。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。稍后将结合图5B和5C来讨论这些。

[0111] 应该理解的是,车道跟随控制器144并不试图仅仅“在最短路径上朝向引领者行驶”,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。然而,在一些状况中使用的所谓的路径模仿中,跟随者502可以跟随引领者503已经行进过的完全相同的路径。因此,在“路径模仿”状态下,跟随者也争取到达引领者后面的相同位置 $P_n, P_{n+1}, \dots, P_m$ 504。

[0112] 引领者503可以由人类驾驶,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。让引领者由人类驾驶可以有经济价值,并且让跟随者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503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自主性系统。

[0113] 无论谁在控制引领者503,是人类还是鲁棒的自主驱动器,引领者503始终在“证明”用于跟随者502的路径。因此,车道跟随控制器144可以保证跟随者502将以至少与引领者503一样安全的方式进行操作。这进而减少了对跟随者502的约束,因此准许自主跟随者502具有不太复杂的逻辑,但是仍然从跟随该引领者中获得增加的安全性益处。

[0114] 参考诸如图6A中所示的情形600,进一步理解了这一点。这里,引领者503和跟随者502正在经历包括弯道的路径610。如果位置P1处的跟随者简单地“朝向”位置P2处的引领者503“行驶”,则跟随者可能趋向于从中心车道穿入右车道中(当它接近弯道的顶点时),如图6B中所示。这种情形通过让跟随者502既“跟随引领者的路径”、又同时还“遵守车道纪律”来避免。

[0115] 3.3车道检测和车道跟随

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,其中道路表面缺乏设置在道路表面本身上的足够的车道标记物或诸如新泽西式隔栏或交通锥之类的特征。还存在如下情形,诸如当标记物缺失、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以其他方式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。

[0116] 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。

[0117] 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*))。

[0118] 如果跟随者被授予“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。

[0119] 3.4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,其中跟随者更紧密地跟随引领者的道路可能是重要的。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、但是引领者出于暗示跟随者应该在相同地方做出相同机动的原因而故意地并且也许是显著地偏离其车道中心时。如上面简要提及的,当存在可检测的车道标记物时,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。

[0120] 将注意力返回到图5B,由车道跟随控制器144实现的逻辑(保持在与引领者相同的车道中)也可以涉及让跟随者502确切地模仿引领者503的车道中心偏移。这里,引领者503已经近似漂移了四分之一车道从而进入左车道。因此,跟随者502可以调整其横向位置,从而也朝向中心的左侧行进车道宽度的四分之一。

[0121] 使用车道偏移模仿的动机可以包括上面提及的潜在更高的准确性、以及跟随者的

前方道路视场在某种程度上被引领者自己阻挡的事实。然而,这并不是说跟随者不可能针对短时间或距离区间而偏离引领者的路径。

[0122] 显然,是否模仿引领者503的车道偏移的决策是一个困难的决策。当引领者503正在避开静止障碍物时,这显然是值得的,而当模仿引领者503将导致跟随者502与邻近其自己的交通工具碰撞时,这显然是不值得的。这里,我们可以再次看到,授予跟随者一定程度的自主性可以是有利的。在实现这种自主性时,两个设计问题是:1)跟随者如何知道引领者是否故意地偏离(被吹动或驾驶员疏忽)、以及2)即使知道,跟随者是否应当模仿。跟随者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动机动(“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)。

[0123] 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(pothole),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。

[0124] 如图5C中所示,在一个情形中,即使当引领者503报告(或被观察到)暂时偏离时,跟随者502也可能保持在中心车道中。这可能发生在当检测到动物正在跨引领者的预期路径跑动(例如,从右到左跑动)的时候。这种情形也可以例如由跟随者利用其相机或其他视觉传感器来检测。

[0125] 如果被引领者503检测到,那么引领者503可以向跟随者502报告由该动物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502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502到达该点时,该动物将已经通过。或者也许跟随者502具有机动拒绝权限,并且可以确定继续模仿引领者503的车道中心偏移或执行某个其他障碍物避开机动是最安全的。

[0126] 4.融合控制器145

如已经提及的,存在如下这样的情形:其中激活多于一个横向控制纪律并使用融合控制器145从而以某种方式从它们中进行选择可能是有价值的。例如,在其中跟随者正在施工区中模仿引领者的路径、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,引领者路径可以被认为是优选路径,但是当安全性需要时,可以通过选择车道导出的路径来覆盖它。

[0127] 在其他实例中,诸如当行进在其中行进车道清晰可见的长的高速公路路段上时,车道导出的路径可以被视为优选路径,但是诸如当进入施工区或其中车道标记物不可见的区域时,车道导出的路径可以被引领者导出的路径所覆盖。

[0128] 尽管图1示出了从两个选项(车道跟随或引领者跟随)中进行选择的融合控制器145,但是应该理解的是,与这些的进一步细微差别是可能的。例如,融合控制器可以连续地将引领者导出的路径与通过车道偏移模仿确定的路径进行比较,并且当两个路径以超出某个量(诸如,几英寸)不一致时,将控制强加到引领者导出的路径。

[0129] 或者,在其他场景中。车道导出的路径可以是优选的“正常”操作模式。当定义了车

道的特征不能够被检测到时(诸如,当车道标记物不存在,或者天气或碎屑模糊了车道标记物时),可以利用引领者路径跟随,直到这种标记物再次变得可见。

[0130] 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)。

[0131] 在这种情况下,跟随者简单地决定切换到车道跟随横向控制纪律也可能是最可靠的,如上面所讨论的。如果准许这种自主切换,则其实际实现方式可能需要人类干预的机制和对该切换强加先决条件的机制。

[0132] 因此,车道感知逻辑124可以使用上面描述的方法、其组合、或者在上面引用的其他专利申请中描述的任何其他方法来导出车道相对姿态。

[0133] 5. 实现方式细节和选项

如本领域技术人员现在所理解的,一个示例实施例涉及自主交通工具(诸如,半挂卡车)的某些组件的操作和配置。半挂卡车可以包括牵引车和相关联的拖车。根据图7的示例,位于牵引车和/或拖车中的电子系统700包括一个或多个传感器110、通信接口115、感知逻辑120、控制器140、以及用于驱动系统致动器190的接口180。

[0134] 传感器110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。

[0135] 自主跟随者中的其他电子设备可以包括控制器,诸如一个或多个计算机。(一个或多个)计算机处理从传感器接收到的数据,实现或使用感知逻辑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。规划器逻辑进而生成控制信号,这些控制信号被馈送到控制器逻辑。控制器逻辑进而生成控制信号,这些控制信号被馈送到操作驱动系统的接口。

[0136] 经由无线接口、诸如交通工具到交通工具(V2V)通信接口来传输和接收数据的无线电收发器也可以提供在规划器或控制逻辑中使用的数据。

[0137] 例如,引领者正在遵循的期望路径可以由引领者通过V2V接口传输给跟随者。

[0138] 驱动系统至少包括加速(或节流(throttle))、制动和转向机构,它们对由控制逻辑提供的电气控制信号输入做出响应。

[0139] 如本文中所使用的,计算机可以包括对应于一个或多个微处理器、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。

[0140] 规划器127从传感器110、感知逻辑120和/或V2V接口115接收数据,以确定自主跟

随者要执行的动作,诸如如何在所选轨迹上继续。

[0141] 在一些示例中,传感器逻辑(未示出)可以在由多个传感器输出的传感器数据被提供给感知逻辑120之前融合这种数据。

[0142] 感知逻辑120从传感器110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128、和/或引领者路径外推或内插之类的功能。对象检测和分类可以使用图像处理来检测车道标记物。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120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。

[0143] 感知逻辑120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。

[0144] 感知输出可以由规划器127和/或控制器140处理,以便在一些状况中生成警报,该警报使得正在跟随的轨迹被变更。这种状况可以包括避开障碍物。

[0145] 接口使得能够控制驱动系统的个体机械元件。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)。

[0146] 控制逻辑140可以附加地从运动传感器120(例如,用于测量距离和速度的里程表或速度计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。

[0147] 作为示例,从(一个或多个)控制器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。

[0148] 6. 优点

上面描述的方法和装置的许多优点现在应该是明显的。当(在高速公路上或高速公路外)不存在(或存在较差)车道标记物时,它们可以用作导航的基础。它们也可以在具有车道标记物的情况下使用,当有理由这样做的时候(例如,在车道改变机动或障碍物避开期间这样做)。它们也可以用于在其中车道标记物可能存在或可能不容易被察觉的施工区、休息区域、收费站等中进行操作。它们可以形成误差恢复例程的基础。

[0149] 没有必要从引领者向跟随者传送任何事物来实现这种方法。等效地,仅使用跟随者上的感测、计算和软件,它取而代之可以形成对引领者已经a)随时间而遵循的、b)相对于跟随者在任何时刻处表达的路径的理解。

[0150] 将路径恢复轨迹与引领者的目前位置解耦避免了朝向引领者行驶的需要。取而代之地,跟随者可以取而代之朝向引领者的路径行驶。

[0151] 形成对路径跟随误差的理解可以被用于任何类型的控制器中,以使得跟随者倾向

于恢复期望路径。

[0152] 它们还提供了在跟随者的运动上强加并不同地权衡附加约束或目标(诸如,跟随车道、改变车道、避开障碍物)的能力。

[0153] 跟随者现在也可以选择故意地偏离引领者的路径,使得车队可以以串行或并行或任何其他配置来操作。

[0154] 它们还提供了开始或停止运动的能力,使得车队可以在存在错误时在车道中停止,在存在错误时拉动到道路的侧面,在收费站或称重站处暂停,跟随出口匝道并且停放在休息区域中,并且然后在不唤醒跟随者驾驶员的情况下继续。

[0155] 7. 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。

[0156] 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。

[0157] 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。

[0158] 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。

[0159] 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。

[0160] 8. 参考文献

Coulter, R. Implementation of the Pure Pursuit Path Tracking Algorithm. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, Jan 1990.

<https://www.mathworks.com/help/robotics/ug/pure-pursuit-controller.html>

Kelly, A, Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods. Cambridge University Press, 2014, Chapter 8.3 pp. 551-565.

https://en.wikipedia.org/wiki/Kanade-Lucas-Tomasi_feature_tracker

H. Stevens,S.C. Tignor和J.F. LoJacono. Off-tracking Calculations for Trailer Combinations. Public Roads,Vol. 34r No. 4,Oct. 1966.

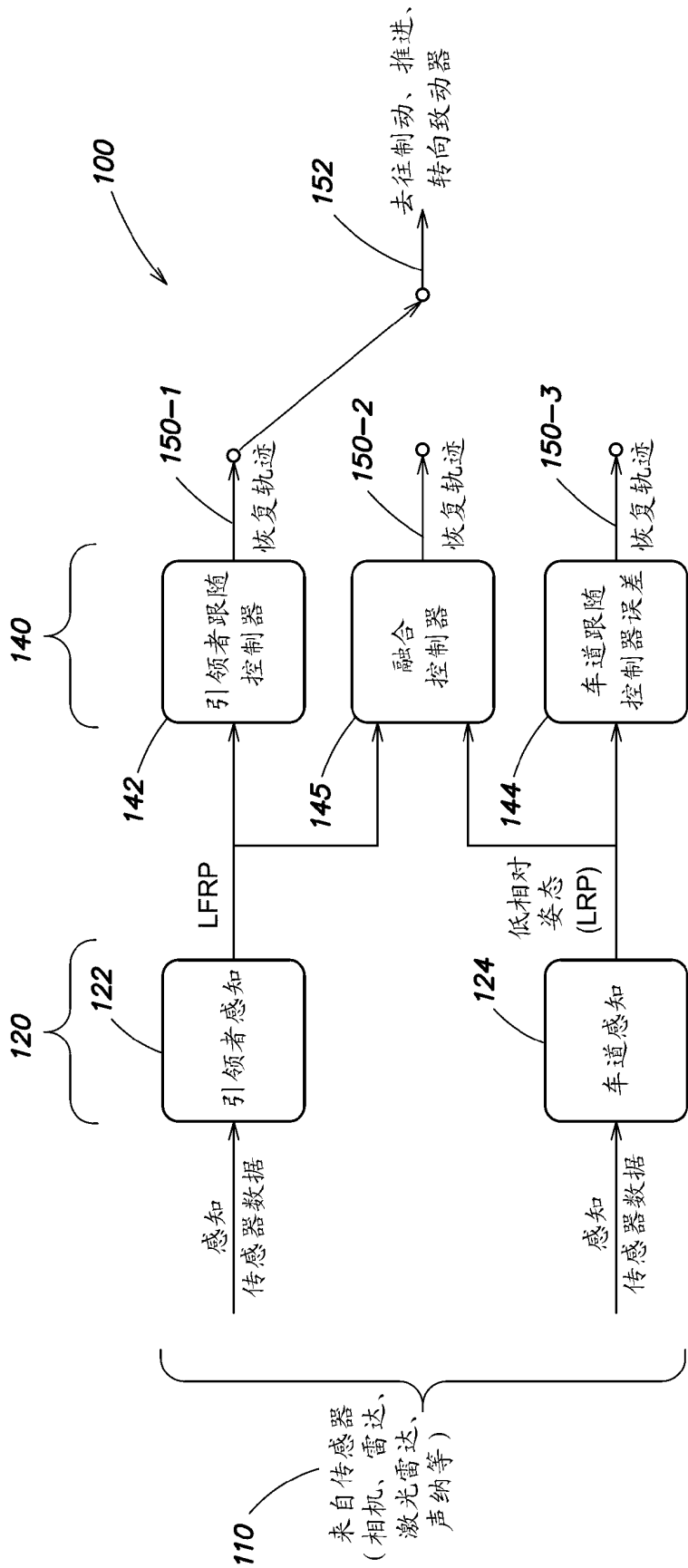


图 1

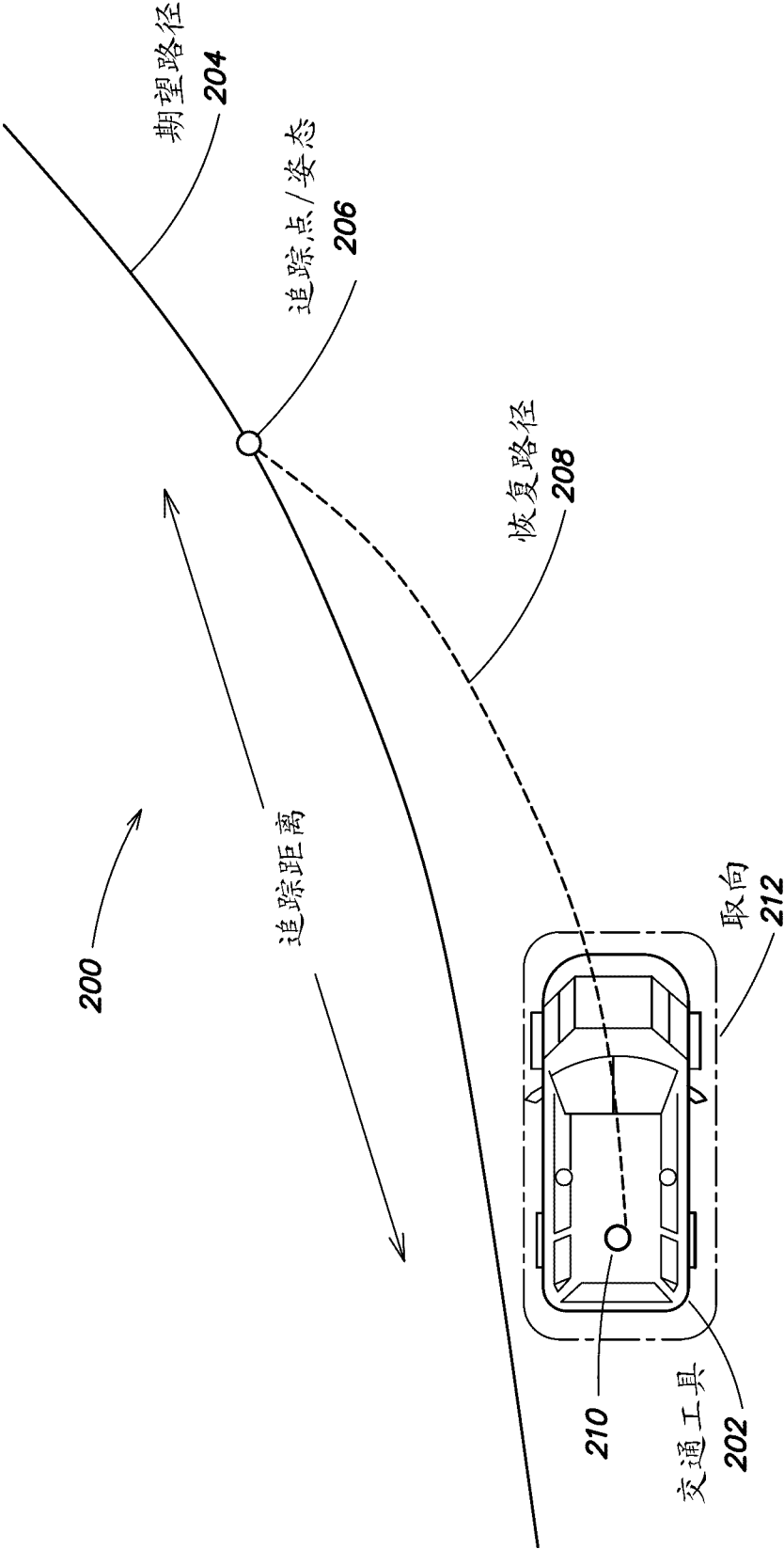


图 2

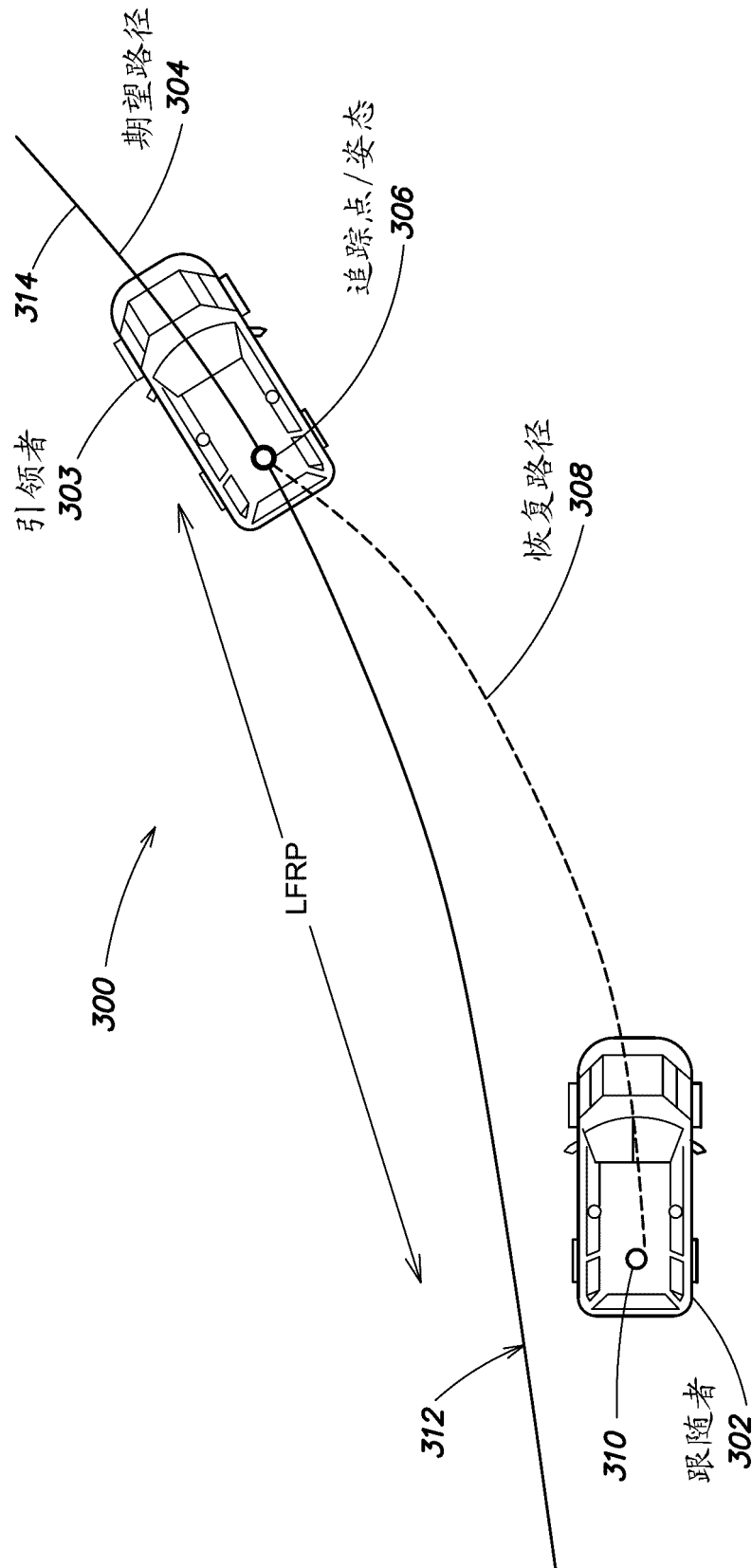


图 3

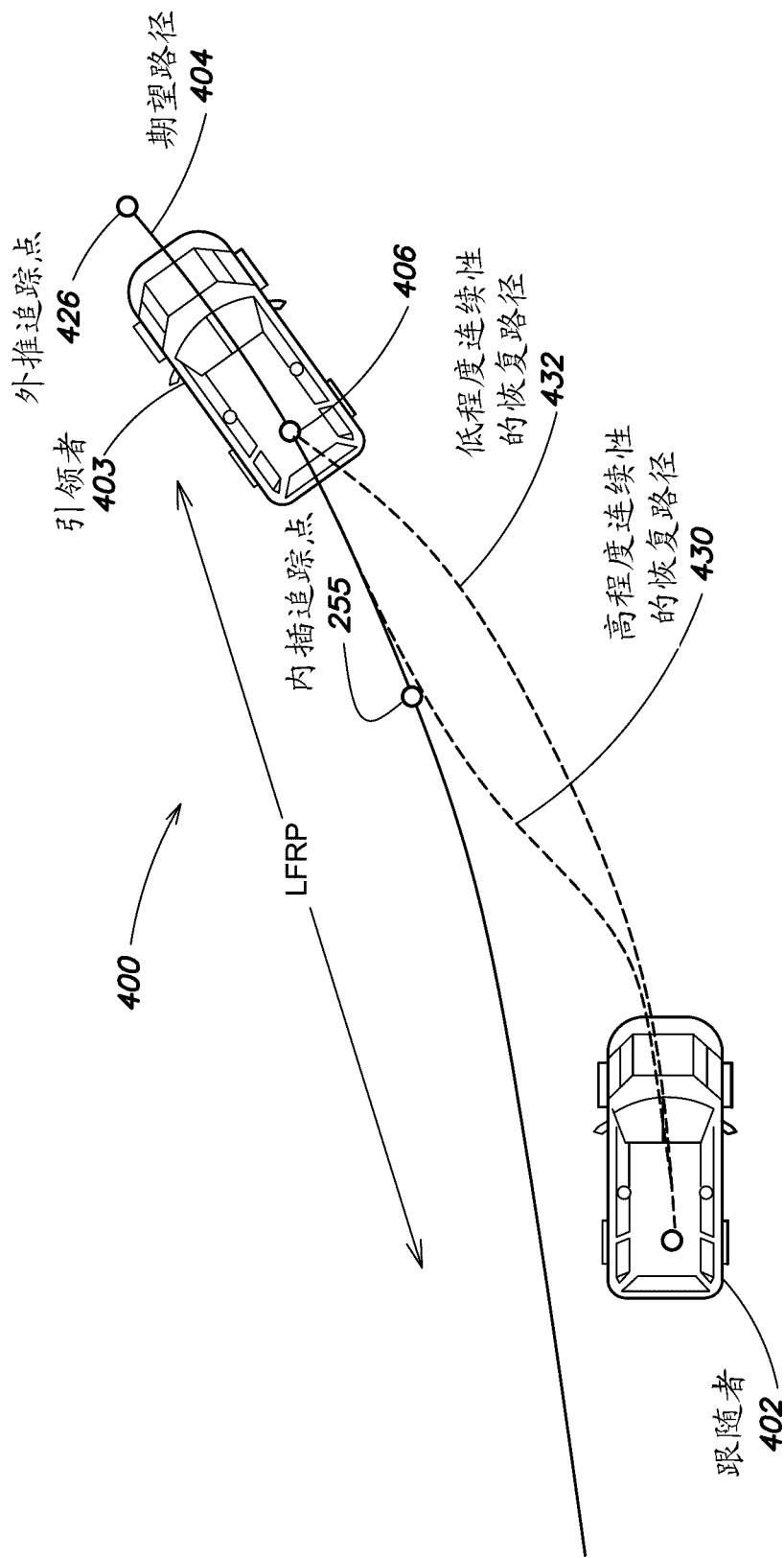


图 4

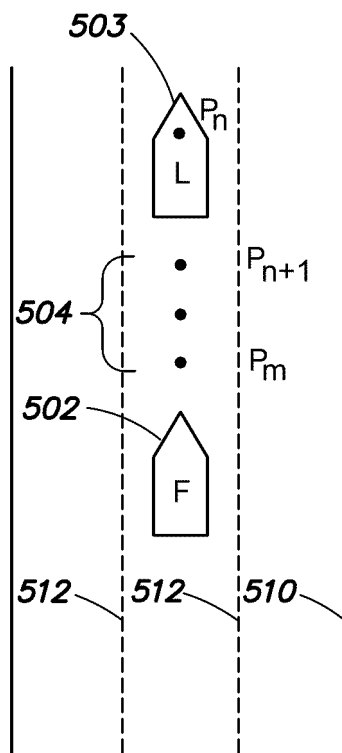


图 5A

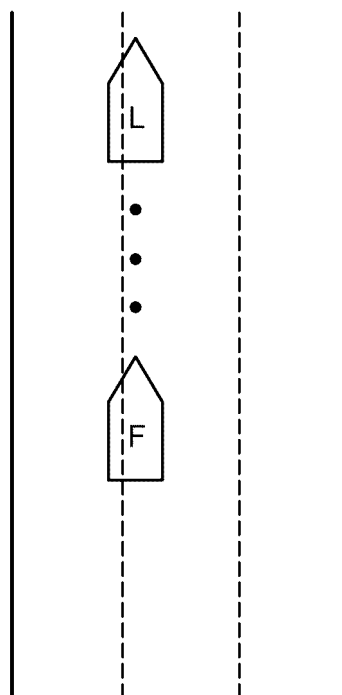


图 5B

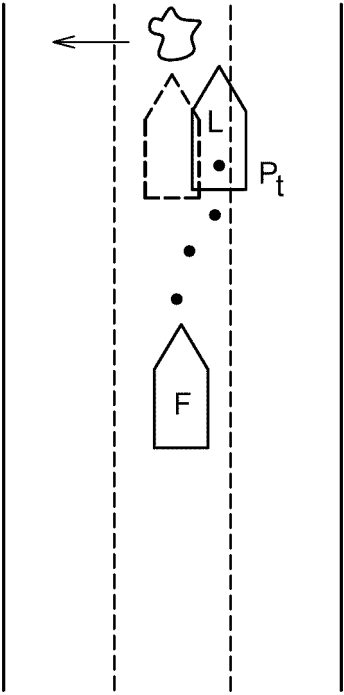


图 5C

来自串行的起始和停止

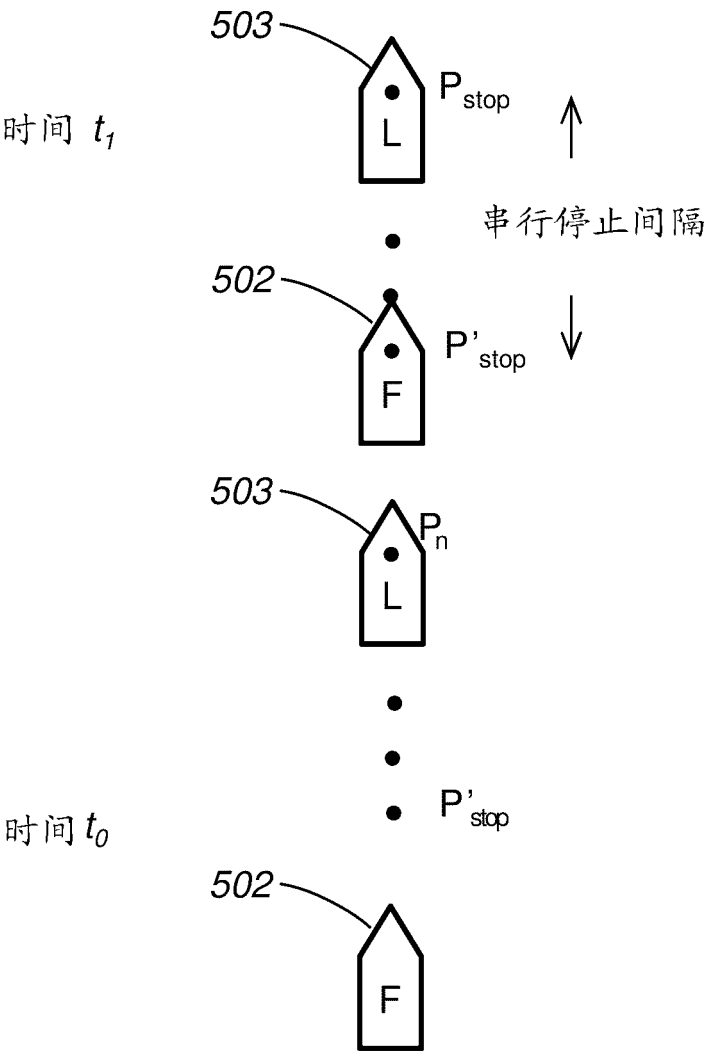


图 5D

来自串行的起始和停止

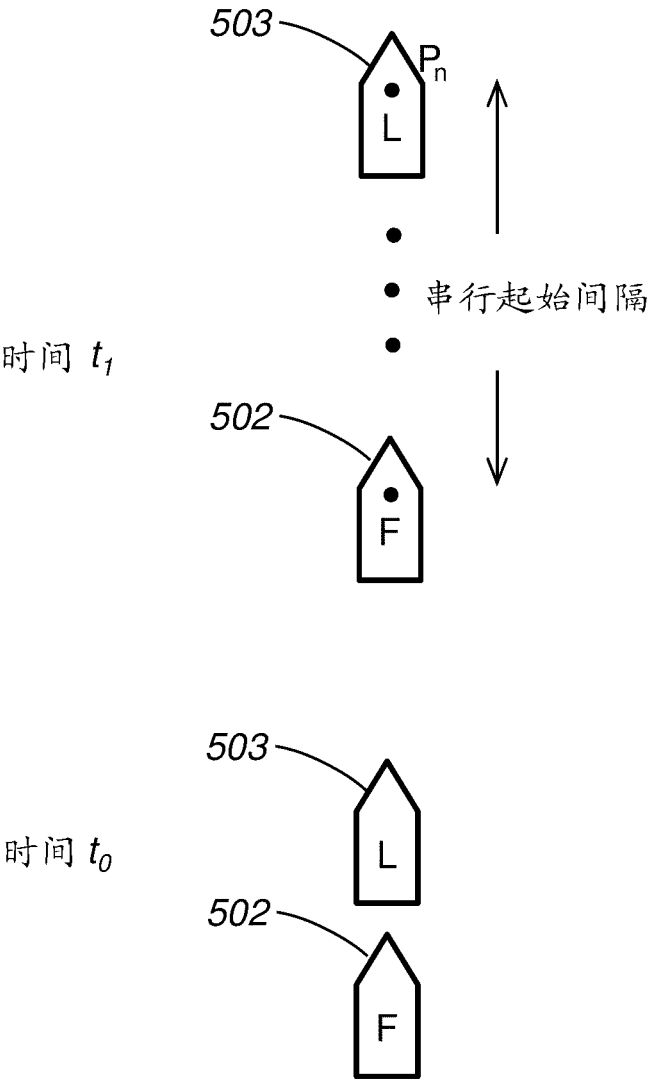


图 5E

来自并行的起始和停止

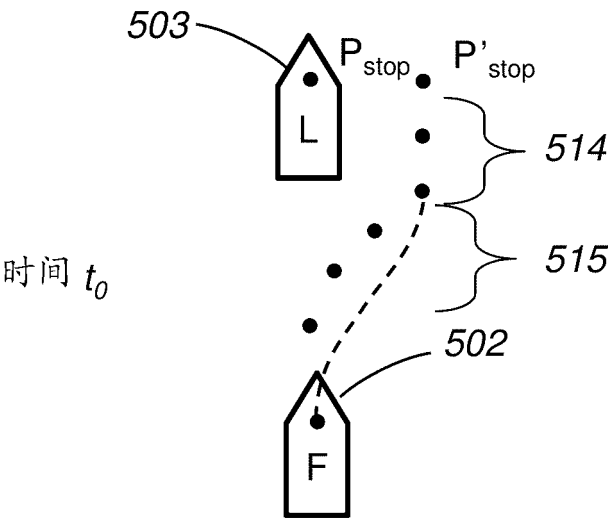
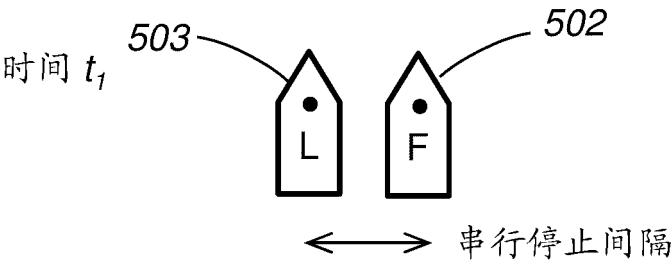


图 5F

来自并行的起始和停止

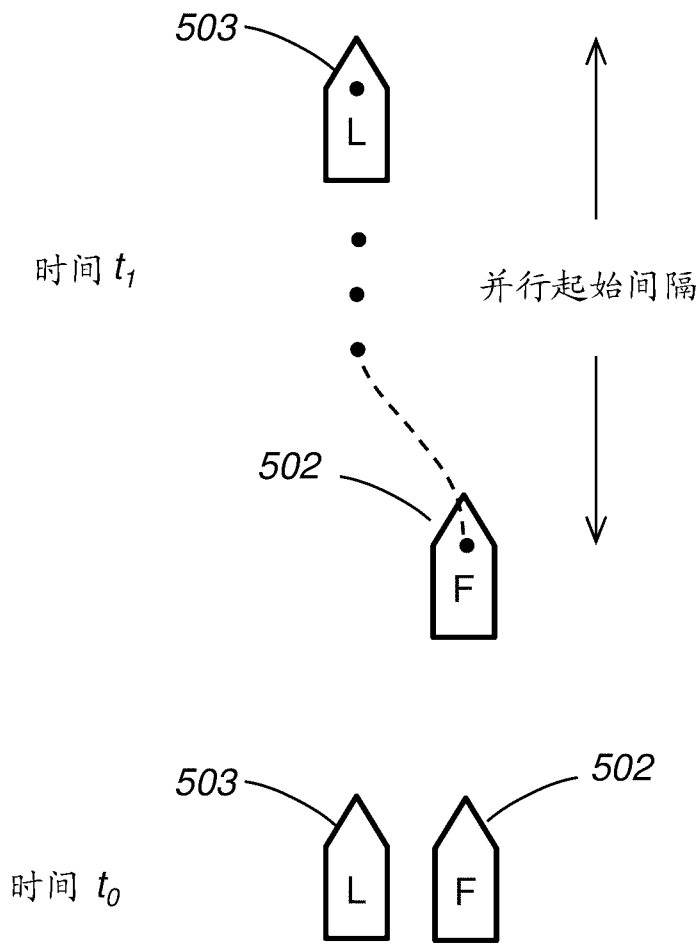


图 5G

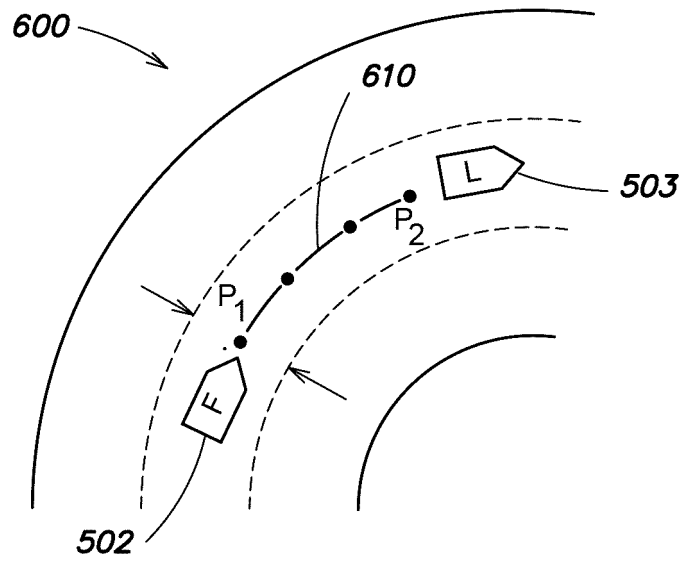


图 6A

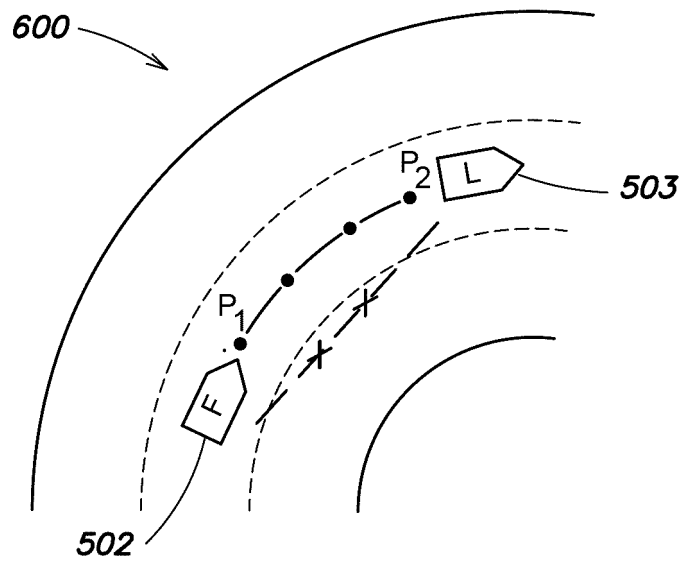


图 6B

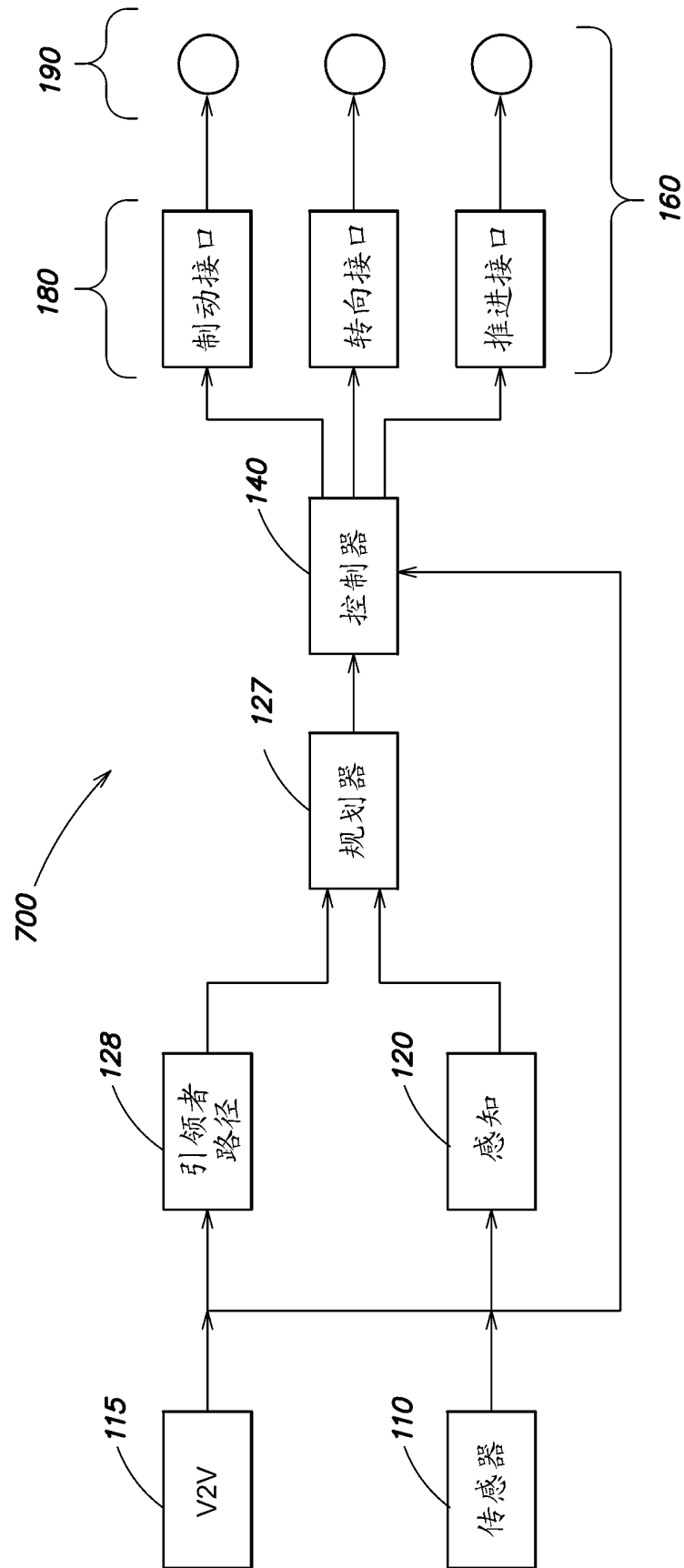


图 7