



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112622922 A

(43) 申请公布日 2021.04.09

(21) 申请号 202011081278.8

B60W 60/00 (2020.01)

(22) 申请日 2020.10.09

(30) 优先权数据

16/594,216 2019.10.07 US

(71) 申请人 福特全球技术公司

地址 美国密歇根州迪尔伯恩市

(72) 发明人 张琳军

海伦·伊丽莎白·库鲁斯-哈里根

(74) 专利代理机构 北京连和连知识产权代理有

限公司 11278

代理人 陈黎明 李红萧

(51) Int. Cl.

B60W 40/105 (2012.01)

H04W 4/44 (2018.01)

H04W 4/46 (2018.01)

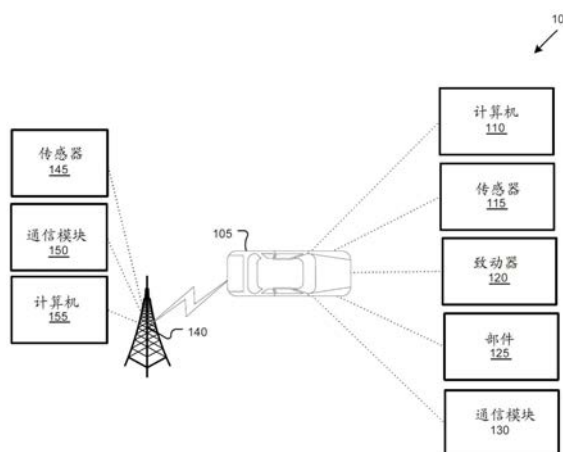
权利要求书2页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

具有自主车辆参考的非自主车辆速度预测

(57) 摘要

本公开提供了“具有自主车辆参考的非自主车辆速度预测”。针对包括当前时间步长的多个时间步长中的每一个接收参考车辆的相应计划参考速度。根据传感器数据确定主体车辆针对所述时间步长中的每一个的相应感测速度。针对所述多个时间步长中的每一个确定所述参考车辆与所述主体车辆之间的相应距离。确定参考车辆与主体车辆之间的中间车辆的数量。基于所述参考车辆的所述计划参考速度、所述主体车辆的所述感测速度、所述距离和中间车辆的所述数量，预测所述主体车辆在所述当前时间步长之后的时间步长处未来速度。



1. 一种方法,其包括:
针对包括当前时间步长的多个时间步长中的每一个接收参考车辆的相应计划参考速度;
根据传感器数据确定主体车辆针对所述时间步长中的每一个的相应感测速度;
针对所述多个时间步长中的每一个确定所述参考车辆与所述主体车辆之间的相应距离;
确定所述参考车辆与所述主体车辆之间的中间车辆的数量;以及
基于所述参考车辆的所述计划参考速度、所述主体车辆的所述感测速度、所述距离和中间车辆的所述数量,预测所述主体车辆在所述当前时间步长之后的时间步长处未来速度。
2. 如权利要求1所述的方法,其中所述参考车辆是自主车辆并且所述主体车辆是非自主或半自主车辆,其中参考车辆计算机控制所述参考车辆的速度,并且人类操作员控制所述主体车辆的速度。
3. 如权利要求1所述的方法,其还包括仅在确定已确定所述主体车辆上的感测速度的所述多个时间步长超过时间步长的预定阈值数量后才预测所述未来速度。
4. 如权利要求1所述的方法,其还包括确定用于调整所述参考车辆的速度的累积延迟,其中所述累积延迟是基于所述参考车辆与所述主体车辆之间的中间车辆的所述数量的时间步长数。
5. 如权利要求4所述的方法,其还包括根据基于所述累积延迟而量纲化的核向量来预测所述未来速度。
6. 如权利要求5所述的方法,其中所述核向量包括所述参考车辆的所述计划速度、所述主体车辆的所述感测速度以及所述参考车辆与所述主体车辆之间的所述距离。
7. 如权利要求6所述的方法,其中根据核向量来预测所述未来速度还包括用于将所述核向量乘以权重向量以获得所预测的未来速度的指令。
8. 如权利要求7所述的方法,其中至少部分地通过递归地并入先前时间步长的权重向量来确定所述权重向量。
9. 如权利要求7所述的方法,其中至少部分地基于先前时间步长的核向量来确定所述权重向量。
10. 如权利要求7所述的方法,其中部分地根据调整因子来确定所述权重向量,所述调整因子减小给予先前时间步长的权重。
11. 如权利要求4所述的方法,其中部分地基于另外基于指定最大可能延迟的用于调整所述参考车辆的速度的所述累积延迟来确定所述权重向量。
12. 如权利要求1所述的方法,其中所述未来速度是多个未来速度中的一个,所述方法还包括确定指定数量的未来时间步长中的每一个的所述未来速度。
13. 如权利要求1所述的方法,其还包括基于一个或多个约束来预测所述主体车辆的所述未来速度。
14. 如权利要求13所述的方法,其中所述一个或多个约束包括距离约束、速度约束和加速度约束中的至少一者。
15. 如权利要求1至14中任一项所述的方法,其中所述方法由安装到固定基础设施元件

的计算机执行。

具有自主车辆参考的非自主车辆速度预测

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及车辆通信系统。

背景技术

[0002] 汽车工程师协会 (SAE) 限定了多个级别的车辆自动化。在级别0至2处,人类驾驶员通常在没有车辆帮助的情况下监测或控制大部分驾驶任务。例如,在级别0 (“无自动化”) 处,人类驾驶员负责所有车辆操作。在级别1 (“驾驶员辅助”) 处,车辆有时会辅助转向、加速或制动,但驾驶员仍然负责绝大多数的车辆控制。在级别2 (“部分自动化”) 处,车辆可在某些情况下在人的监督下控制转向、加速和制动,但不需要人的直接干预。在级别3至5处,车辆承担更多驾驶相关任务。在级别3 (“有条件自动化”) 处,车辆可在某些情况下处理转向、加速和制动,以及监测驾驶环境。然而,级别3要求驾驶员偶尔地进行干预。在级别4 (“高自动化”) 处,车辆可处理与级别3相同的任务,但并不依赖于驾驶员干预某些驾驶模式。在级别5 (“完全自动化”) 处,车辆可以处理几乎所有的任务而无需驾驶员进行任何干预。

[0003] 车辆对基础设施 (V2I) 和车辆对车辆 (V2V) 通信可允许各种级别自动化下的车辆向彼此和/或向基础设施元件提供数据。例如,基础设施元件可能提供关于区域中的对象、危险等的的数据,以支持车辆的路径计划,例如避开危险和对象,并且/或者车辆可能向彼此提供此类数据。

发明内容

[0004] 一种计算机包括处理器和存储器,所述存储器存储指令,所述指令可由所述处理器执行以:针对包括当前时间步长的多个时间步长中的每一个接收参考车辆的相应计划参考速度;根据传感器数据确定主体车辆针对所述时间步长中的每一个的相应感测速度;针对所述多个时间步长中的每一个确定所述参考车辆与所述主体车辆之间的相应距离;确定参考车辆与主体车辆之间的中间车辆的数量;以及基于所述参考车辆的所述计划参考速度、所述主体车辆的所述感测速度、所述距离和中间车辆的所述数量,预测所述主体车辆在所述当前时间步长之后的时间步长处未来速度。

[0005] 所述参考车辆可以是自主车辆并且所述主体车辆可以是非自主或半自主车辆,其中参考车辆计算机控制所述参考车辆的速度,并且人类操作员控制所述主体车辆的速度。

[0006] 所述计算机可以安装到固定基础设施元件。计算机还可包括用于仅在确定已确定所述主体车辆上的感测速度的所述多个时间步长超过时间步长的预定阈值数量后才预测所述未来速度的指令。计算机还可包括用于确定用于调整所述参考车辆的速度的累积延迟的指令,其中所述累积延迟是基于所述参考车辆与所述主体车辆之间的中间车辆的所述数量的时间步长数。计算机还可包括用于根据基于所述累积延迟而量纲化的核向量来预测所述未来速度的指令。所述核向量可包括所述参考车辆的所述计划速度、所述主体车辆的所述感测速度以及所述参考车辆与所述主体车辆之间的所述距离。计算机还可包括用于根据核向量来预测所述未来速度的指令还包括用于将所述核向量乘以权重向量以获得所预测

的未来速度的指令。可至少部分地通过递归地并入先前时间步长的权重向量来确定所述权重向量。可至少部分地基于先前时间步长的核向量来确定所述权重向量。可部分地根据减小给予先前时间步长的权重的调整因子来确定所述权重向量。计算机还可包括用于另外基于指定最大可能延迟来确定用于调整所述参考车辆的速度的所述累积延迟的指令。所述未来速度可以是多个未来速度中的一个；所述指令还可以包括用于确定指定数量的未来时间步长中的每一个的所述未来速度的指令。计算机还可包括用于基于一个或多个约束来预测所述主体车辆的所述未来速度的指令。该一个或多个约束可包括距离约束、速度约束和加速度约束中的至少一者。

[0007] 一种方法包括：针对包括当前时间步长的多个时间步长中的每一个接收参考车辆的相应计划参考速度；根据传感器数据确定主体车辆针对所述时间步长中的每一个的相应感测速度；针对所述多个时间步长中的每一个确定所述参考车辆与所述主体车辆之间的相应距离；确定参考车辆与主体车辆之间的中间车辆的数量；以及基于所述参考车辆的所述计划参考速度、所述主体车辆的所述感测速度、所述距离和中间车辆的所述数量，预测所述主体车辆在所述当前时间步长之后的时间步长处未来速度。

[0008] 所述参考车辆可以是自主车辆并且所述主体车辆可以是非自主或半自主车辆，其中参考车辆计算机控制所述参考车辆的速度，并且人类操作员控制所述主体车辆的速度。该方法还可包括确定用于调整所述参考车辆的速度的累积延迟，其中所述累积延迟是基于所述参考车辆与所述主体车辆之间的中间车辆的所述数量的时间步长数。该方法还可包括根据基于累积延迟量钢化的核向量来预测未来速度，其中所述核向量包括所述参考车辆的所述计划速度、所述主体车辆的所述感测速度以及所述参考车辆与所述主体车辆之间的所述距离。该方法还可包括根据核向量来预测所述未来速度还包括用于将所述核向量乘以权重向量以获得所预测的未来速度的指令。

[0009] 参考图1和图2，交通通信和控制系统100包括基础设施元件140，所述基础设施元件140被设置为监测基础设施元件140周围的限定区域200，包括区域200中的车辆105、205。例如，限定区域200可以是靠近基础设施元件140的区域。在当前背景下，“靠近”是指区域200由一个或多个元件140传感器145的视野限定。限定区域200可以替代地是由元件140周围的半径或相对于基础设施元件140的某个其他距离或距离集限定的区域。

[0010] 车辆105能够进行完全自主操作（如下文进一步定义），即，通常在车辆计算机110控制车辆105的转向、推进和制动中的每一者的情况下处于SAE 4级或5级。自主车辆105沿循由计算机110计划的轨迹。所述计划轨迹包括车辆105计划在相应未来时间行进的相应点集，以及车辆105在相应未来时间的计划速度（speed/velocity）（这些术语在本文中可互换地用于表示车辆105沿着纵向轴线的瞬时运动速率）。另一方面，车辆205非自主地或半自主地操作，即，由人类操作员控制车辆205的推进和制动，即速度、加速度和减速度。因此，非自主车辆205沿循由人类操作员通过输入（包括至加速踏板和/或制动踏板）确定的轨迹。

[0011] 与可以由计算机110提供的自主车辆105的预测的或计划的未来速度相反，预测非自主车辆205的未来速度是个问题。有利地，如本文所公开的，可以基于车辆205的检测速度以及自主车辆105的计划速度来预测非自主车辆205的一个或多个未来速度。

附图说明

[0012] 图1是示出示例交通通信和控制系统的框图。

[0013] 图2是示出其中可以实施图1的系统的示例交通场景的图示。

[0014] 图3是用于预测主体车辆的速度的示例性过程的流程图。

[0015] 图4示出了经验数据的示例图,根据所述经验数据可以确定最小和最大时间步长数的阈值。

具体实施方式

[0016] 车辆105通常(但不一定)是陆地车辆,诸如汽车、卡车等。另外地或可选地,车辆105可包括自行车、摩托车等。车辆105包括车辆计算机110、传感器115、用于致动各种车辆部件125的致动器120,以及车辆通信模块130。通信模块130允许车辆计算机110例如经由消息传递或广播协议(诸如专用短程通信(DSRC)、蜂窝和/或可支持车辆对车辆、车辆对基础设施、车辆对云通信等的其他协议)和/或经由分组网络135与一个或多个基础设施元件140和中央服务器170通信。

[0017] 车辆计算机110包括诸如已知的处理器和存储器。存储器包括一种或多种形式的计算机可读介质,并且存储可由计算机110执行以用于执行各种操作(包括如本文所公开的操作)的指令。

[0018] 计算机110可以自主模式、半自主模式或非自主(或手动)模式来操作车辆105。出于本公开的目的,自主模式被限定为其中由计算机110控制车辆105推进、制动和转向中的每一者的模式;在半自主模式下,计算机110控制车辆105推进、制动和转向中的一者或两者;在非自主模式下,人类操作员控制车辆105推进、制动和转向中的每一者。

[0019] 计算机110可包括编程以操作车辆105制动、推进(例如,通过控制内燃发动机、电动马达、混合发动机等中的一者或多者来控制车辆的加速)、转向、气候控制、内部灯和/或外部灯等中的一者或多者,以及确定计算机110(而非人类操作员)是否以及何时控制此类操作。另外,计算机110可被编程为确定人类操作员是否以及何时控制此类操作。

[0020] 计算机110可包括或例如经由车辆105网络(诸如,如下文进一步描述的通信总线)通信地耦合到多于一个处理器,所述处理器例如包括在车辆中所包括的电子控制器单元(ECU)等中以用于监测和/或控制各种车辆部件125,例如,动力传动系统控制器、制动控制器、转向控制器等。计算机110通常被布置用于在车辆通信网络上进行通信,所述车辆通信网络可包括车辆中的总线(诸如控制器局域网(CAN)等)和/或其他有线和/或无线机制。

[0021] 经由车辆105网络,计算机110可向车辆中的各种装置(例如,传感器115、致动器120、人机界面(HMI)等)传输消息和/或从各种装置接收消息(例如,CAN消息)。可选地或另外地,在计算机110实际上包括多个装置的情况下,车辆105通信网络可用于在本公开中表示为计算机110的装置之间的通信。此外,如下所述,各种控制器和/或传感器115可经由车辆通信网络向计算机110提供数据。

[0022] 车辆105传感器115可包括诸如已知用于向计算机110提供数据的多种装置。例如,传感器115可包括设置在车辆105的顶部上、在车辆105前挡风玻璃后面、在车辆105周围等的一个或多个光探测和测距(激光雷达)传感器115等,所述激光雷达传感器提供车辆105周围的对象的位置、大小和形状。作为另一个示例,固定到车辆105保险杠的一个或多个

雷达传感器115可以提供数据来提供对象、第二车辆105等相对于车辆105的位置的位置。替代地或另外,传感器115还可例如包括一个或多个相机传感器115(例如,前视、侧视等),所述相机传感器提供来自车辆105周围的区域的图像。在本公开的上下文下,对象是可通过可由传感器115检测到的物理现象(例如,光或其他电磁波或声音等)来表示的物理(即,客观存在)事物。因此,车辆105以及包括以下讨论的其他事物都落在本文的“对象”的定义内。

[0023] 车辆105致动器120经由电路、芯片或可根据如已知的适当控制信号来致动各种车辆子系统的其他电子和/或机械部件来实施。致动器120可用于控制部件125,包括车辆105的制动、加速和转向。

[0024] 在本公开的上下文下,车辆部件125是一个或多个硬件部件,所述一个或多个硬件部件适于执行机械或机电功能或操作,诸如使车辆105移动、使车辆101减慢或停止、使车辆105转向等。部件125的非限制性示例包括:推进部件(包括例如内燃发动机和/或电动马达等)、变速器部件、转向部件(例如,可包括方向盘、转向齿条等中的一者或多者)、制动部件(如下所述)、停车辅助部件、自适应巡航控制部件、自适应转向部件、可移动座椅等。

[0025] 另外,计算机110可被配置用于经由车辆对车辆通信模块或接口130与车辆105外部的装置进行通信,例如,通过到另一车辆、到基础设施元件140(通常经由直接射频通信)和/或(通常经由网络135)远程服务器170的车辆对车辆(V2V)或车辆对基础设施(V2X)无线通信(蜂窝和/或DSRC等)。模块130可包括车辆105的计算机110可通过其进行通信的一个或多个机制,包括无线(例如,蜂窝、无线、卫星、微波和射频)通信机制的任何期望的组合以及任何期望的网络拓扑(或当利用多个通信机制时的多个拓扑)。经由模块130提供的示例性通信可以包括蜂窝、蓝牙、IEEE 802.11、专用短程通信(DSRC)、蜂窝V2X(CV2X)等。

[0026] 车辆105和基础设施元件140可经由各种有线或无线通信机制中的一者或多者,包括有线(例如,电缆和光纤)和/或无线(例如,蜂窝、无线、卫星、微波和射频)通信机制的任何所需组合以及任何所需的网络拓扑(或当利用多个通信机制时的多个拓扑)来彼此和/或与其他装置进行通信。示例性通信网络包括提供数据通信服务的无线通信网络(例如,使用Bluetooth®、Bluetooth®低功耗(BLE)、IEEE 802.11、专用短程通信(DSRC)、蜂窝车辆联网通信(CV2x)等)、局域网(LAN)和/或广域网(WAN),包括互联网。

[0027] 基础设施元件

[0028] 基础设施元件140包括物理结构,诸如塔或其他支撑结构(例如,杆、可安装到桥支撑件的盒子、手机塔、道路标志支撑件等),基础设施传感器145以及基础设施通信模块150和计算机155可容纳、安装、储存和/或包含在所述物理结构上或中并被供电等。为便于说明,在图1中示出了一个基础设施元件140,但系统100能够并可能将包括数十、数百或数千个元件140。

[0029] 基础设施元件140通常是静止的,即,固定到特定物理位置并且无法从其移动。基础设施传感器145可包括一个或多个传感器,诸如上文针对车辆105传感器115所描述,例如,激光雷达、雷达、相机、超声传感器等。基础设施传感器145是固定或静止的。也就是说,每个传感器145安装到基础设施元件,以便具有基本上不移动且不改变的视野。为了方便起见,“基础设施”可以缩写为“IX”。

[0030] 因此,与车辆105传感器115相比,传感器145在很多有利方面提供视野。首先,由于传感器145具有基本上恒定的视野,因此可用比还必须考虑到传感器145的移动的情况更少

且更简单的处理资源来完成对车辆105和对象位置的确定。此外,传感器145包括车辆105的外部视角,并且有时可检测到不在车辆105传感器115的一个或多个视野内的对象的特征和特性和/或可提供更准确的检测,例如,关于车辆105相对于其他对象的位置和/或移动。更进一步地,传感器145可经由有线连接与元件140计算机155通信,而车辆105通常可仅无线地或仅在有线连接可用时的非常有限时间内与元件140和/或服务服务器170进行通信。有线通信更可靠并且可比诸如车辆对基础设施通信等的无线通信更快。

[0031] 通信模块150和计算机155通常具有与车辆计算机110和车辆通信模块130共同的特征,并且因此将不进一步描述以避免冗余。尽管为便于说明而未示出,但基础设施元件140还包括电源,诸如电池、太阳能电池单元和/或到电力网的连接。

[0032] 图2示出了由基础设施元件140监测的示例性交通区域200。交通区域200包括道路210上的车辆105、205。如下面进一步讨论的,自主车辆105可以将其在未来时间的计划速度提供给基础设施元件140(即,经由通信模块130的计算机110可以向经由通信模块150的计算机155提供此类数据)。此外,基础设施140计算机155可以接收检测车辆205在相应时间的相应速度的传感器145数据。为了预测非自主车辆205n(在本文中为方便起见称为“主体”车辆,即,计算机155正在预测速度的车辆205n)的一个或多个未来速度,计算机155可以识别最近的自主车辆105,即,在道路210的与车辆205n相同的车道中在非自主车辆205n前方的最近车辆105,例如,从车辆105到基础设施140的基本安全消息(BSM)可以识别车辆105位置;基础设施计算机155然后将车辆105的位置投影到由区域200的计算机155维护的数字地图上。应注意,其他车辆205可以在主体车辆205n与相同车道中的最近的自主车辆105(有时为了方便起见被称为“参考”车辆105)之间。通过使用参考车辆105的计划的未来速度和车辆205n的检测到的速度,计算机155可以预测车辆205n的未来速度。

[0033] 在示例性实现方式中,计算机155可以针对包括当前时间步长的多个时间步长中的每一个接收参考车辆105的相应计划参考速度。时间步长是由自从上一个时间步长以来经过的时间量定义的时刻,例如根据采样传感器数据和/或从车辆105接收的数据之间的时间量来指定。例如,在一个实现方式中,时间步长相隔100毫秒,这是经由V2X通信报告的数据的时间步长之间的典型时间量。计算机105还可以根据传感器145数据确定主体车辆205n针对每个时间步长的相应感测速度。此外,通常基于传感器145数据,计算机155可以针对多个时间步长中的每一个(即,在多个时间步长中的每一个处)确定参考车辆105与主体车辆205n之间的相应距离。计算机155还可以确定参考车辆105与主体车辆205n之间的中间车辆205的数量。然后,基于参考车辆的计划参考速度、主体车辆的感测速度、距离和中间车辆的数量,计算机155可以预测主体车辆在当前时间步长之后的时间步长处未来速度。

[0034] 以下定义有助于进一步解释预测主体车辆205n的速度。

[0035]	$v_n[t_k]$	第 n 个车辆在第 k 个时间步长 t 处的速度。
	$x[t_k]$	核向量，其包括在第 k 个时间步长 t 处距第 n 个车辆的参考车辆的速度和距离。
	$V_m[t_k]$	参考车辆 m 在第 k 个时间步长 t 处的速度。
	$h_{mn}[t_k]$	在第 k 个时间步长 t 处参考车辆 m 与车辆 n 之间的距离。
	Δt	数据采集时间，即传感器数据样本之间的时间，以及相应的时间步长 $t_0 \dots t_{k-1}$ 、 t_k 、 $t_{k+1} \dots$ 之间的时间量
	τ	表示在紧接在前(即，下一个前方)车辆的速度改变后从当前时间 k 到改变车辆速度的最大人体反应延迟时间；在一个示例中，基于研究表明最大反应时间是 3 秒， $\tau = 3$ 。
[0036]	d	人类驾驶员在紧接在前(即，下一个前方)车辆的速度改变后从当前时间 k 到改变车辆速度的延迟步长数；可以被确定为 $d = \tau / \Delta t$ 。
	D_n	车辆 n 基于参考车辆 m 的速度变化来改变速度的延迟步长数(有时称为累积延迟)，由 $D_n = Md$ 给出，其中 M 是车辆 n 和参考车辆 m 之间的车辆数。
	w^T	权重向量 w 的线性膨胀。
	S	在输出参考车辆的预测速度 $v_n[t_{k+1}]$ 之前要提供参考车辆的数据样本的最小时间步长数。
	N	在不再输出参考车辆的预测速度 $v_n[t_{k+1}]$ 之前将提供参考车辆的数据样本的最大时间步长数。

[0037] 表1

[0038] 计算机155可以被编程为用线性形式的模型对主体车辆205n的未来速度进行建模，如等式(1)所示：

$$[0039] \quad v_n[t_{k+1}] = w^T x[t_k] \quad (1)$$

[0040] 核向量 x 可以针对多个时间步长建模各种车辆状态，考虑了主体车辆205n的人类操作员在参考车辆105的速度改变之后进行反应(即，调整车辆205n的速度)的延迟 D_n 。累积延迟 D_n (在下面的示例中， D_n 可以缩写为 D)，即，是基于参考车辆105与主体车辆205n之间的中间车辆205的数量确定的时间步长数，可以根据表1中的定义进行确定。可基于累积延迟 D_n 对核向量进行量纲化，例如，核向量可以针对 $D+1$ 个时间步长建模三个车辆105、205n状态，即，核向量可为尺寸为 $3 \times D+1$ 的矩阵。在本示例实现方式中选择 $D+1$ 的大小，因为这意味着所考虑的累积延迟是最大延迟 τ 乘以参考车辆105与主体车辆205n之间的中间车辆205的数量(加上一排或列以考虑 τ 已经离散化的事实)，即，假设车辆205n的人类操作员将对参考车辆105的速度变化作出反应，所述速度变化在大约 τ 秒之前(即，当前时间步长 k 之前的 τ 秒)发生。在本示例中，三个车辆105、205n状态是参考车辆105的速度 $v_m[t_{k-D-1}]$ ， \dots ， $v_m[t_{k-1}]$ 、参考车辆105与主体车辆205n之间的距离 $h_{mn}[t_{k-D-1}]$ ， \dots ， $h_{mn}[t_{k-1}]$ 以及主体车辆205n的检测到的速度 $v_n[t_{k-D-1}]$ ， \dots ， $v_n[t_{k-1}]$ 。

[0041] 向量 x 可以任何合适的形式提供,例如多项式、指数、正弦等,并且在本示例中以线性形式表示:

$$[0042] \quad x[t_k] = [v_m[t_{k-D-1}], \dots, v_m[t_{k-1}], h_{mn}[t_{k-D-1}], \dots, h_{mn}[t_{k-1}], v_n[t_{k-D-1}], \dots, v_n[t_{k-1}]]^T \quad (2)$$

[0043] 一旦确定了核向量 x ,则估计权重向量 w 为可能的。可以通过并入来自相应先前时间步长的一个或多个权重向量来至少部分地递归地确定时间步长的权重向量 w 。可以至少部分地基于来自相应先前时间步长的一个或多个核向量来确定时间步长的权重向量 w 。此外,权重向量可以部分地根据减小给予先前时间步长的权重的调整因子来确定。因此,可以通过下式来确定权重向量

$$[0044] \quad w[t_k] = w[t_{k-1}] + \alpha g \quad (3)$$

[0045] 因子 α 将主体车辆205n的当前速度与紧接在前的时间步长 $k-1$ 到当前时间步长 k 的加权核矩阵组合如下:

$$[0046] \quad \alpha = v_n[t_k] - w^T x[t_{k-1}] \quad (4)$$

[0047] 因子 g 递归地确定:

$$[0048] \quad g = \frac{Px[t_{k-1}]}{\lambda + x^T[t_{k-1}]Px[t_{k-1}]} \quad (5)$$

[0049] 其中协方差矩阵 P 是大(即,通常超过10,000行)的对角矩阵,被初始化为单位矩阵,然后递归确定如下:

$$[0050] \quad P = \frac{P - gx^T[t_{k-1}]P}{\lambda} \quad (6)$$

[0051] 其中在等式(5)和(6)两者中, λ 是“遗忘因子”,即,被提供以对来自相继较旧的时间步长的数据给予较小权重的值。在一个示例中, $\lambda = 0.997$ 。 λ 的值可以以经验确定,例如通过试错法。也就是说,使用各种 λ 值将车辆205速度的测量值并且因此假设为真值与如本文所述在对应于测量值的时间步长处 $v_n[t_{k+1}]$ 的相应值进行比较可以产生 λ 的适当值。例如,如果 λ 太小,则将导致 $v_n[t_{k+1}]$ 中的振荡和不可预测性。另一方面,过大的 λ 值将不适当地减小赋予新获取的数据的权重。

[0052] 过程

[0053] 图3是预测主体车辆205的未来速度(并且通常是相应时间步长的一组未来速度)的示例性过程300的流程图。过程300可以由执行存储在计算机155存储器中的指令的基础设施140计算机155处理器来执行。然而,应注意,尽管本文的描述集中于在基础设施140计算机155中确定主体车辆205速度,但是原则上,可以基于本文所述的获取数据来在一些其他计算机(例如,车辆105计算机110)中执行用以确定主体车辆205速度的处理。还应注意,过程300描述了预测单个主体车辆205n相对于参考车辆105的未来速度。然而,在实践中,计算机155可以基本上同时地预测多个主体车辆205可能相对于两个或更多个不同参考车辆105的速度。

[0054] 过程300在框305中开始,其中计算机155识别参考车辆105和主体车辆205。例如,计算机155可以通过例如根据用于解释来自激光雷达、相机等的数据的已知技术来解释来自传感器145的数据来识别车辆105、205,以对对象进行定位和分类。此外,如上所述能够自主操作的参考车辆105通常根据诸如如上所述的V2X通信来识别。也就是说,车辆105可以广

播由识别车辆105的基础设施元件140接收的消息,所述消息提供其他数据,诸如位置(即,根据指定的坐标系)、当前速度和/或航向,以及相应时间步长的计划速度和/或航向(即,未来轨迹数据)等。因此,过程300可以在计算机155识别参考车辆105并且然后确定主体车辆205(并且通常,如上所述,多个主体车辆205)的存在时开始,主体车辆205的速度可以预测。

[0055] 接下来,在框310中,计算机155确定初始时间步长 $k=0$ 时主体车辆205的状态数据。状态数据通常包括车辆205n的速度和位置。替代地或另外地,状态数据可以包括车辆205n的速度以及距参考车辆105的距离。距参考车辆105的距离可以是主体车辆205n与参考车辆105之间的线性距离(例如,以米等单位测量的)和/或其他车辆205的数量。此外,如上所述,可以在来自车辆105的消息中提供当前时间步长的参考车辆105的状态数据。

[0056] 接下来,在框315中,计算机155确定可以如上所述确定的延迟 D_n 。

[0057] 接下来,在框320中,针对初始时间步长 $k=0$,计算机155形成上述核向量 x ,即,包括车辆105、205n的速度以及它们之间的距离。

[0058] 接下来,在框325中,针对初始时间步长 $k=0$,计算机155初始化权重向量 w 和协方差向量 P 的值。

[0059] 接下来,在框330中,计算机155将时间步长 k 递增到下一个时间步长 k ,即,设置 $k=k+1$ 。

[0060] 接下来,在框335中,计算机155基于传感器145数据和/或来自车辆105的数据,针对当前时间步长 k 更新车辆105、205n状态数据,包括车辆105、205的速度和位置。此外,核向量 x (其各自包括如上所述的车辆105、205n状态数据)可以用针对当前时间步长 k 的该状态数据进行更新。

[0061] 接下来,在决策框340中,计算机155确定是否处理当前时间步长 k ,即,过程300是否应继续预测主体车辆205n的速度。例如,计算机155可以在确定主体车辆205n和/或参考车辆105已经离开区域200,即,不再在视野内和/或基础设施元件140的指定距离内时确定不继续预测主体车辆205的速度。如果确定过程300不应继续,即,不应处理当前时间步长 k ,则过程300结束。否则,过程300前进到框345。

[0062] 在框345中,计算机155确定当前时间步长 k 的权重向量 $w[t_k]$ 的值,然后例如根据如上提供的等式来预测车辆205n在下一个时间步长 $k+1$ 的速度 $v_n[t_{k+1}]$ 。因此,在框345的重复迭代中,计算机155累积一组预测速度,直到由预测时域 N 确定的时间步长数,即一组预测速度 $\{v_n[t_{k+1}], \dots, \{v_n[t_{k+N}]\}$ 。

[0063] 接下来,在决策框350中,计算机155确定是否已经超过时间步长的阈值数量,即上文表1中描述的阈值 S ,并且通常还确定当前时间步长是否在(例如小于或等于)所建立的时域 N 内以用于提供参考车辆205n的预测速度。也就是说,计算机155通常被编程为仅在确定多个时间步长(已针对其确定了主体车辆205n上的感测速度)超过时间步长的预定阈值数量后才输出未来速度。

[0064] 时间步长的阈值数量 S 和预测时域 N 是根据在其内速度预测可能可靠的时间步长范围确定的。也就是说,通常,太少的时间步长意味着没有足够的数据来进行可靠的预测,而太多的时间步长意味着预测在未来太远而不可靠。时间步长的这些数量可以通过经验测试来确定,即通过在试车跑道或一些其他测试环境上操作车辆105、205n,以及相对于车辆205n的实际测量速度来评估预测速度的准确性。图4示出了经验数据的示例,其中 $S=150$ 并

且 $N=30$ 。图4中的顶部曲线图示出了车辆205n的以m/s或米为单位的预测速度相对于实际测量速度的精度的误差(垂直轴)对以秒为单位的时间(水平轴)。图4中的底部曲线图示出了在相隔100ms的时间步长内车辆205n的预测速度相对于实际测量速度(垂直轴上的速度),时间步长0在顶部曲线图中所示的 $t=485.6[s]$ 处。可以看出,对于这些时间步长,预测参考车辆205n速度的误差相对较低,直到当预测时域达到时间步长30($N=30$)时,误差增加。因此,根据该示例性数据集, S 可以被设置为150,并且 N 可以被设置为30。

[0065] 如果时间步长数(即, k 的当前值)小于或等于 S ,则过程300从框350返回到框330。否则,过程300前进到框355。

[0066] 在框355中,计算机155将一个或多个约束应用于在框345中确定的预测的主体车辆205n速度 $v_n[t_{k+1}]$ 的值。该一个或多个约束可包括距离约束、速度约束和加速度约束中的至少一者。表达式(7)、(8)和(9)分别示出了示例性距离约束、速度约束和加速度约束:

$$[0067] \quad v_n[t_{k+i}] \leq v_m[t_{k+i-1}] + \frac{(h_{mn}[t_{k+i-1}] - h_{min})}{dt} \quad (7)$$

[0068] 其中 h_{min} 表示车辆105、205之间的最小可允许距离;

$$[0069] \quad v_{min} \leq v_n[t_{k+i}] \leq v_{max} \quad (8)$$

$$[0070] \quad v_n[t_{k+i-1}] + a_{min} dt \leq v_n[t_{k+i}] \leq v_n[t_{k+i-1}] + a_{max} dt \quad (9)$$

[0071] 值 h_{min} 可以以经验确定。例如,基础设施140计算机155可以收集并存储在区域200中靠近基础设施140(例如,在十字路口附近)停靠的车辆105、205之间的距离。这些值可以被平均(或以其他方式进行统计分析)并四舍五入到适当的精度水平,例如0.1米。

[0072] 接下来,在框360中,已如上文在框355中所述施加约束,计算机155输出预测的主体车辆205n速度 $v_n[t_{k+1}]$,以及可能的一组速度 $\{v_n[t_{k+1}], \dots, \{v_n[t_{k+N}]\}$,如上所述。可以存储每个时间步长的预测的主体车辆205n速度,使得直到要预测的时间步长数的时域或极限 N ,一组预测的主体车辆205n速度 $v_n[t_{k+1}]$ 、 \dots 、 $v_n[t_{k+N}]$ 可以存储并输出到框360中。也就是说,参考车辆205n或当前时间步长的预测的未来速度可以是多个未来速度中的一个,每一个针对指定数量(例如, $N-S$)的未来时间步长中的一个。在框360之后,过程300返回到框330。

[0073] 如本文所使用,副词“基本上”意指形状、结构、测量结果、数量、时间等因为材料、机加工、制造、数据传输、计算速度等的缺陷而可能偏离精确描述的几何形状、距离、测量结果、数量、时间等。

[0074] “基于”涵盖“全部基于或部分基于”。如果在本文中第一事物被描述和/或声称“基于”第二事物,则第一事物是从第二事物推导或计算出的,和/或从算法、过程或程序函数输出,该算法、过程或程序函数接受一些或全部的第二事物作为输入并输出一些或全部的第一事物。

[0075] 通常,所描述的计算系统和/或装置可采用许多计算机操作系统中的任一者,包括但不限于以下版本和/或变型:Ford Sync®应用程序、AppLink/Smart Device Link中间件、Microsoft Automotive®操作系统、Microsoft Windows®操作系统、Unix操作系统(例如,由加州红木海岸的Oracle Corporation发布的Solaris®操作系统)、由纽约阿蒙克市的International Business Machines发布的AIX UNIX操作系统、Linux操作系统、由加州库比蒂诺的Apple Inc.发布的Mac OSX和iOS操作系统、由加拿大滑铁卢的Blackberry,

Ltd.发布的BlackBerry OS以及由Google, Inc.和开放手机联盟开发的Android操作系统,或由QNX Software Systems供应的QNX®CAR信息娱乐平台。计算装置的示例包括但不限于车载车辆计算机、计算机工作站、服务器、台式计算机、笔记本计算机、膝上型计算机或手持式计算机或者某一其他计算系统和/或装置。

[0076] 计算机和计算装置一般包括计算机可执行指令,其中所述指令可由一个或多个计算装置(诸如以上列出的那些)执行。可由使用多种编程语言和/或技术创建的计算机程序编译或解译计算机可执行指令,所述编程语言和/或技术单独地或者组合地包括但不限于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诸如Java虚拟机、Dalvik虚拟机等虚拟机上编译和执行。一般来说,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,由此执行一个或多个过程,包括本文所述的过程中的一者或多者。可使用各种计算机可读介质来存储和传输此类指令和其他数据。计算装置中的文件一般是存储在诸如存储介质、随机存取存储器等计算机可读介质上的数据集合。

[0077] 存储器可包括计算机可读介质(也称为处理器可读介质),所述计算机可读介质包括参与提供可由计算机(例如,由计算机的处理器)读取的数据(例如,指令)的任何非暂态(例如,有形)介质。此类介质可采取许多形式,包括但不限于非易失性介质和易失性介质。非易失性介质可包括例如光盘或磁盘以及其他永久存储器。例如,易失性介质可包括通常构成主存储器的动态随机存取存储器(DRAM)。此类指令可以由一种或多种传输介质传输,所述一种或多种传输介质包括同轴电缆、铜线和光纤,包括构成联接到ECU的处理器系统总线的电线。计算机可读介质的常见形式包括例如软盘、软磁盘、硬盘、磁带、任何其他磁性介质、CD-ROM、DVD、任何其他光学介质、穿孔卡片、纸带、任何其他具有孔图案的物理介质、RAM、PROM、EPROM、快闪-EEPROM、任何其他存储器芯片或盒式磁带,或计算机可从中读取的任何其他介质。

[0078] 数据库、数据存储库或本文所描述的其他数据存储装置可包括用于存储、访问和检索各种数据的各种机制,包括分层数据库、文件系统中的文件集、呈专用格式的应用数据库、关系型数据库管理系统(RDBMS)等。每个此类数据存储装置总体上包括在采用计算机操作系统(诸如以上所提及那些中的一种)的计算装置内,并且经由网络以各种方式中的任一种或多种来访问。文件系统可从计算机操作系统存取,并且可包括以各种格式存储的文件。除了用于创建、存储、编辑和执行存储过程的语言之外,RDBMS通常还使用结构化查询语言(SQL),诸如上文提及的PL/SQL语言。

[0079] 在一些示例中,系统元件可被实现为一个或多个计算装置(例如,服务器、个人计算机等)上、存储在与之相关联的计算机可读介质(例如,磁盘、存储器等)上的计算机可读指令(例如,软件)。计算机程序产品可以包括存储在计算机可读介质上用于执行本文所述的功能的此类指令。

[0080] 关于本文所描述的介质、过程、系统、方法、启发等,应当理解,虽然此类过程等的步骤已被描述为根据某一有序顺序发生,但此类过程可在在与本文所描述次序不同的次序执行所描述步骤的情况下来实践。还应理解,可以同时执行某些步骤,可以添加其他步骤,或者可以省略本文描述的某些步骤。换句话说,本文对过程的描述是出于说明某些实施例的目的而提供,而绝不应将其解释为对权利要求进行限制。

[0081] 因此,应理解,以上描述意图为说明性的而非限制性的。在阅读以上描述时,除了所提供的示例之外的许多实施例和应用对于本领域的技术人员将是明显的。不应参考以上描述来确定本发明的范围,而应该为参考所附权利要求连同此类权利要求所赋予权利的等效物的全部范围来确定本发明的范围。预期并期望本文所讨论的技术未来将有所发展,并且所公开的系统和方法将并入此类未来实施例中。总之,应当理解,本发明能够进行修改和变化,并且仅受所附权利要求限制。

[0082] 除非本文做出明确的相反指示,否则权利要求中使用的所有术语意图给出如本领域技术人员所理解的普通和一般的含义。具体地,除非权利要求叙述相反的明确限制,否则使用诸如“一个”、“该”、“所述”等单数冠词应被解读为叙述所指示的要素中的一者或多者。

[0083] 根据本发明,一种系统包括具有处理器和存储器的计算机,所述存储器存储指令,所述指令可由所述处理器执行以:针对包括当前时间步长的多个时间步长中的每一个接收参考车辆的相应计划参考速度;根据传感器数据确定主体车辆针对所述时间步长中的每一个的相应感测速度;针对所述多个时间步长中的每一个确定所述参考车辆与所述主体车辆之间的相应距离;确定参考车辆与主体车辆之间的中间车辆的数量;以及基于所述参考车辆的所述计划参考速度、所述主体车辆的所述感测速度、所述距离和中间车辆的所述数量,预测所述主体车辆在所述当前时间步长之后的时间步长处未来速度。

[0084] 根据一个实施例,所述参考车辆是自主车辆并且所述主体车辆是非自主或半自主车辆,其中参考车辆计算机控制所述参考车辆的速度,并且人类操作员控制所述主体车辆的速度。

[0085] 根据一个实施例,所述计算机安装到固定基础设施元件。

[0086] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:用于仅在确定已确定所述主体车辆上的感测速度的所述多个时间步长超过时间步长的预定阈值数量后才预测所述未来速度的指令。

[0087] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:用于确定用于调整所述参考车辆的速度累积延迟的指令,其中所述累积延迟是基于所述参考车辆与所述主体车辆之间的中间车辆的所述数量的时间步长数。

[0088] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:用于根据基于所述累积延迟而量纲化的核向量来预测所述未来速度的指令。

[0089] 根据一个实施例,所述核向量包括所述参考车辆的所述计划速度、所述主体车辆的所述感测速度以及所述参考车辆与所述主体车辆之间的所述距离。

[0090] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:用于根据核向量来预测所述未来速度的指令还包括用于将所述核向量乘以权重向量以获得所预测的未来速度的指令。

[0091] 根据一个实施例,至少部分地通过递归地并入先前时间步长的权重向量来确定所述权重向量。

[0092] 根据一个实施例,至少部分地基于先前时间步长的核向量来确定所述权重向量。

[0093] 根据一个实施例,部分地根据减小给予先前时间步长的权重的调整因子来确定所述权重向量。

[0094] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:用于另外基于指定最大可能延迟来确定用于调整所述参考车辆的速度所述累积延迟的指令。

[0095] 根据一个实施例,所述未来速度是多个未来速度中的一个,所述指令还包括用于确定指定数量的未来时间步长中的每一个的所述未来速度的指令。

[0096] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:用于基于一个或多个约束来预测所述主体车辆的所述未来速度的指令。

[0097] 根据一个实施例,该一个或多个约束包括距离约束、速度约束和加速度约束中的至少一者。

[0098] 根据本发明,一种方法包括:针对包括当前时间步长的多个时间步长中的每一个接收参考车辆的相应计划参考速度;根据传感器数据确定主体车辆针对所述时间步长中的每一个的相应感测速度;针对所述多个时间步长中的每一个确定所述参考车辆与所述主体车辆之间的相应距离;确定参考车辆与主体车辆之间的中间车辆的数量;以及基于所述参考车辆的所述计划参考速度、所述主体车辆的所述感测速度、所述距离和中间车辆的所述数量,预测所述主体车辆在所述当前时间步长之后的时间步长处未来速度。

[0099] 根据一个实施例,所述参考车辆是自主车辆并且所述主体车辆是非自主或半自主车辆,其中参考车辆计算机控制所述参考车辆的速度,并且人类操作员控制所述主体车辆的速度。

[0100] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:确定用于调整所述参考车辆的速度的累积延迟,其中所述累积延迟是基于所述参考车辆与所述主体车辆之间的中间车辆的所述数量的时间步长数。

[0101] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:根据基于累积延迟量钢化的核向量来预测未来速度,其中所述核向量包括所述参考车辆的所述计划速度、所述主体车辆的所述感测速度以及所述参考车辆与所述主体车辆之间的所述距离。

[0102] 根据一个实施例,本发明的特征还在于:根据核向量来预测所述未来速度还包括用于将所述核向量乘以权重向量以获得所预测的未来速度的指令。

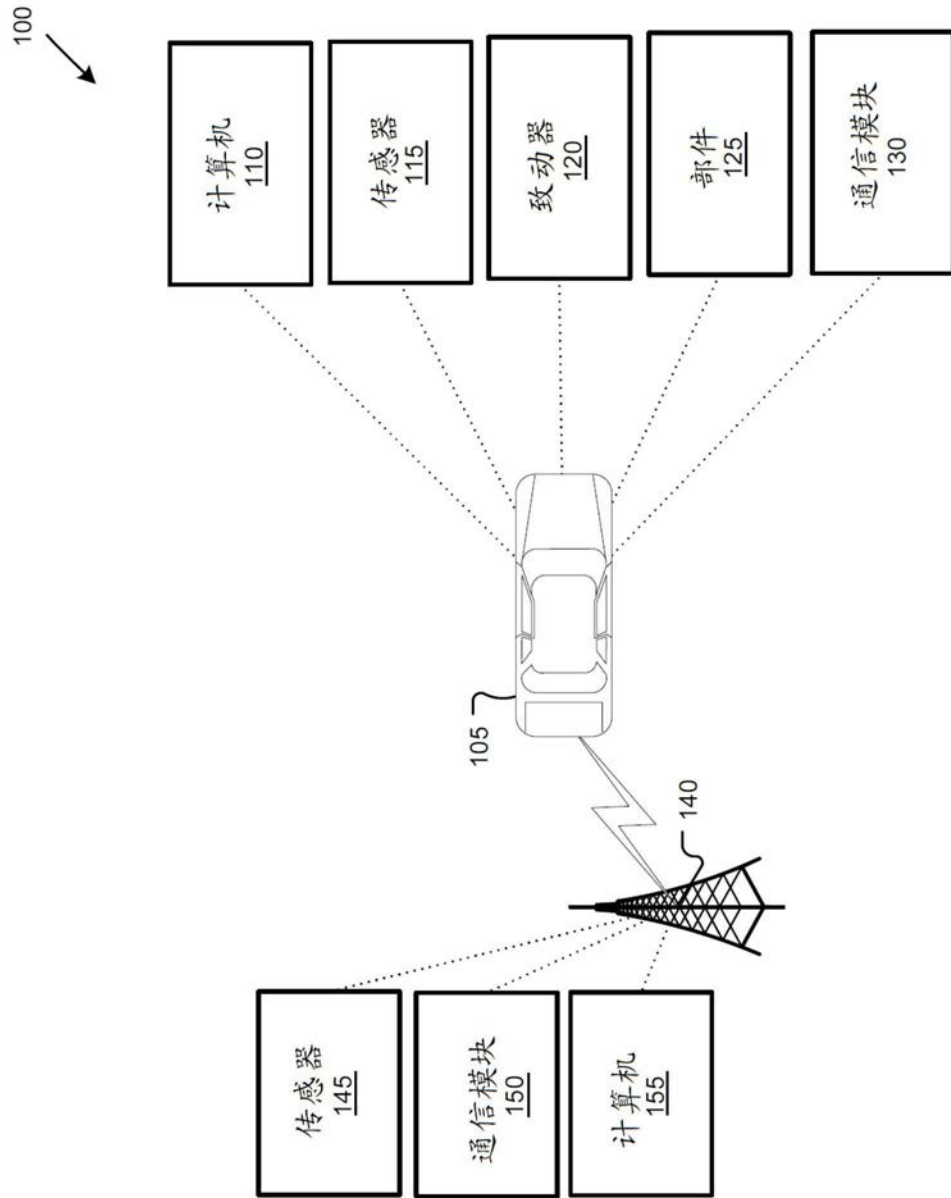


图1

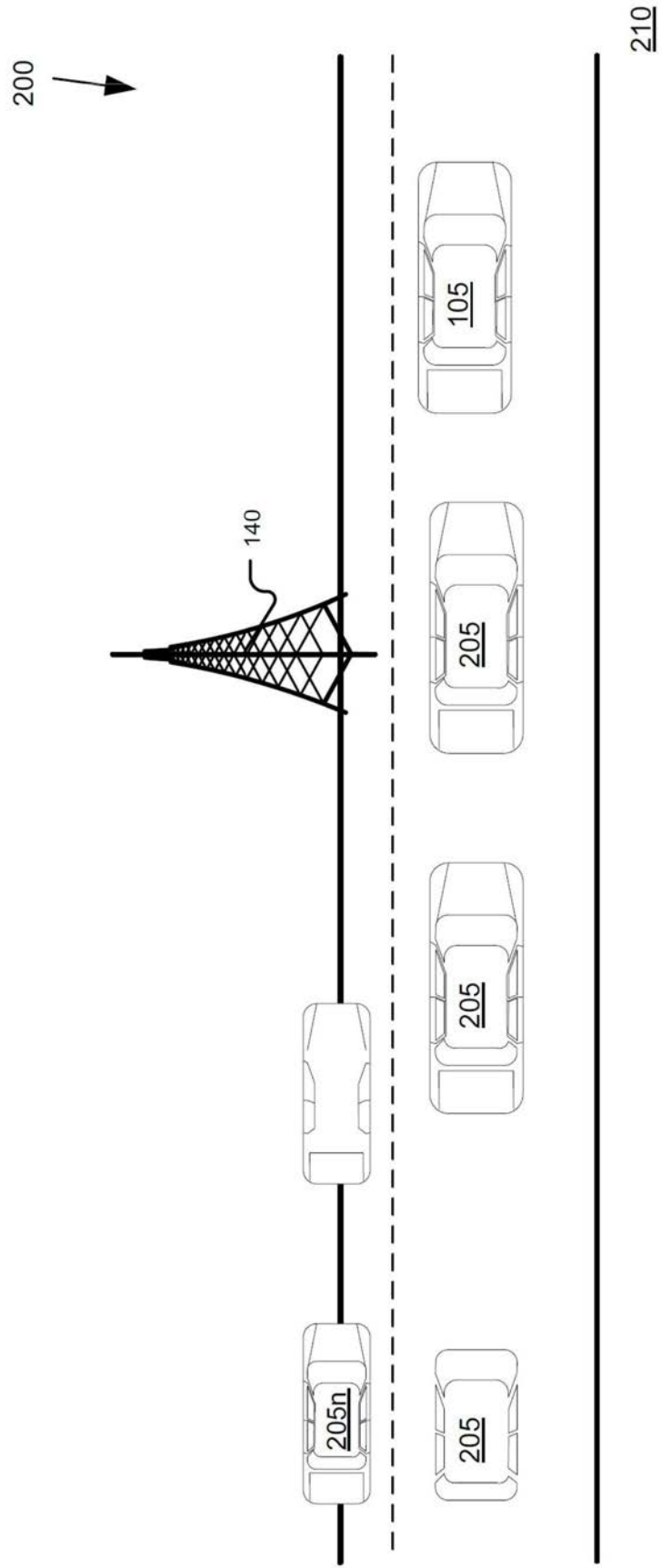


图2

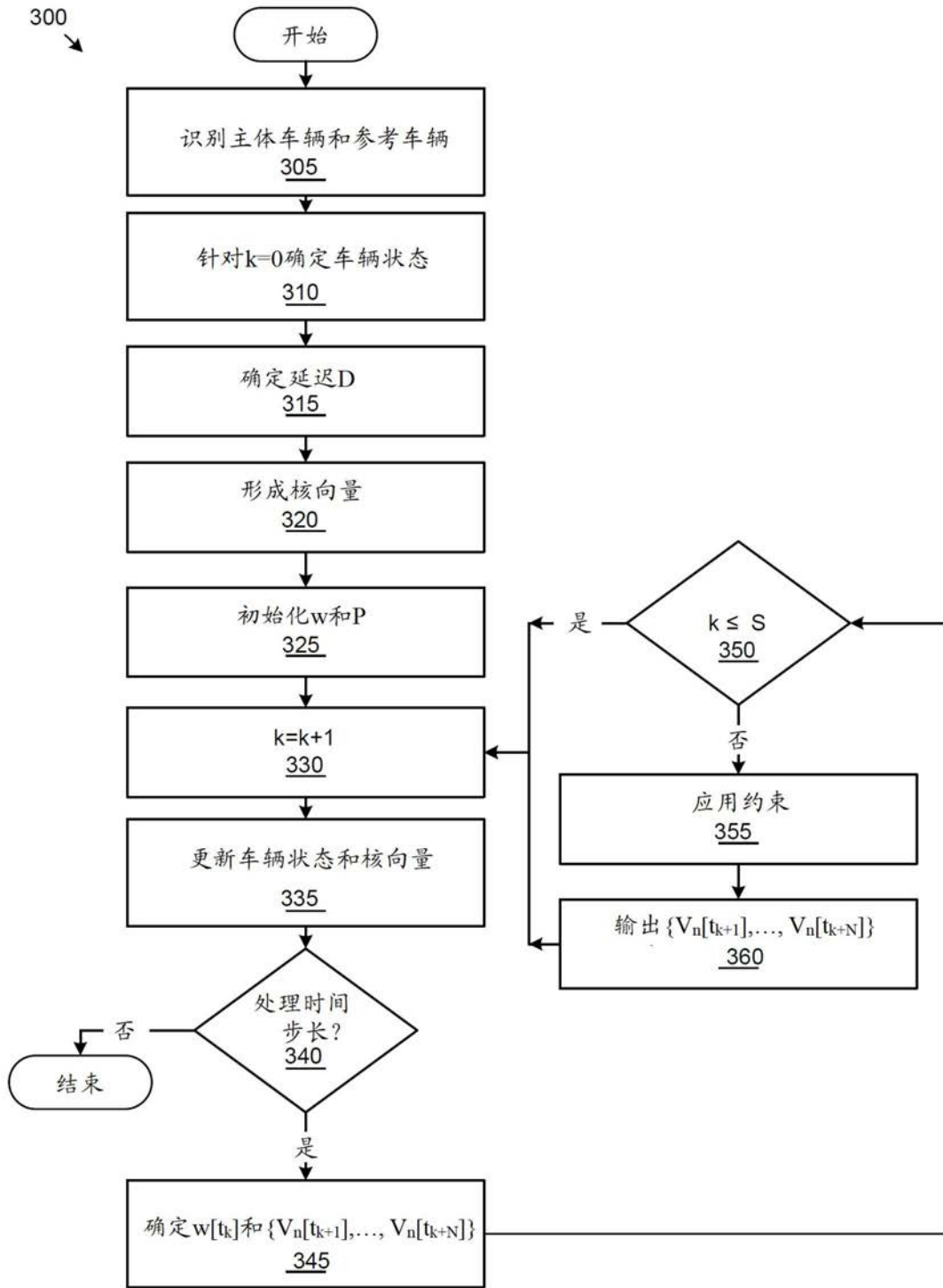


图3

400 →

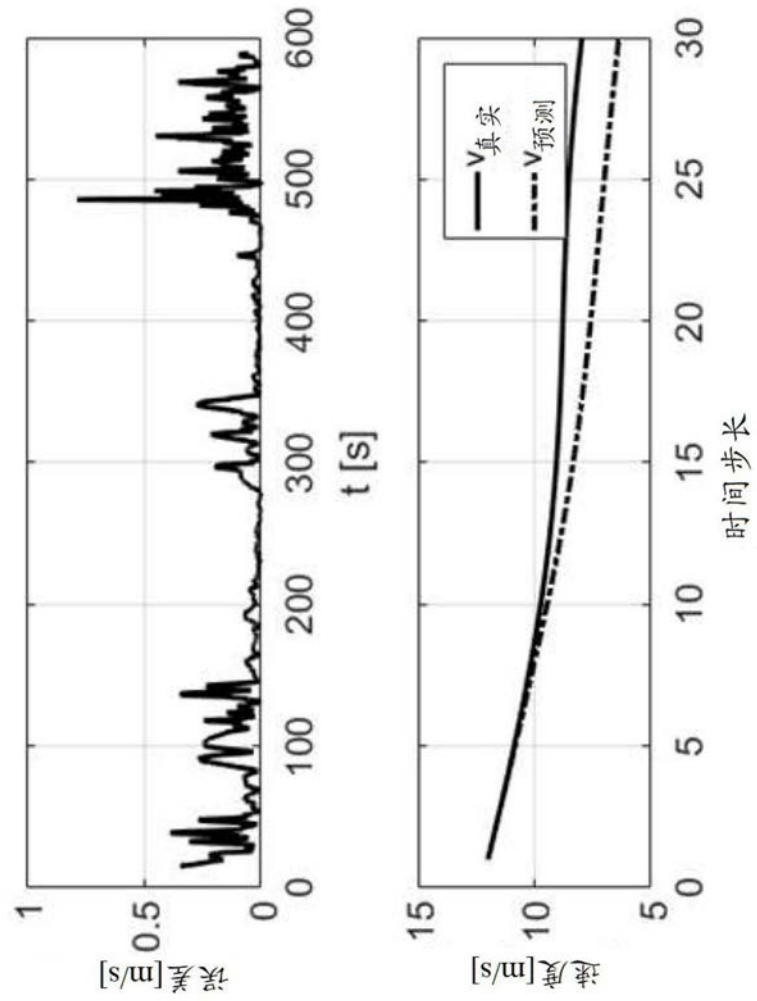


图4