



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102393744 B

(45) 授权公告日 2014. 09. 10

(21) 申请号 201110372447. 8

US 5706355 A, 1998. 01. 06, 全文.

(22) 申请日 2011. 11. 22

US 6526352 B1, 2003. 02. 25, 第 70-74, 81-85 栏, 图 4-6, 12, 17A.

(73) 专利权人 湖南大学

地址 410082 湖南省长沙市岳麓区麓山南路 2 号湖南大学信息科学与工程学院

王洋. 基于视觉导航的智能车系统研究. 《南昌大学硕士学位论文》. 2010,

审查员 高霖

(72) 发明人 李仁发 肖雄仁 徐成 张小明 唐建秋 周权 邹汉铮 肖俊

(74) 专利代理机构 湖南兆弘专利事务所 43008 代理人 赵洪 周长清

(51) Int. Cl. G05D 1/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2002-215236 A, 2002. 07. 31, 第 37-43 段, 图 1, 9, 10.

JP 特开 2006-023278 A, 2006. 01. 26, 全文.

US 特开 2002-015521 A1, 2002. 02. 07, 全文.

权利要求书1页 说明书5页 附图5页

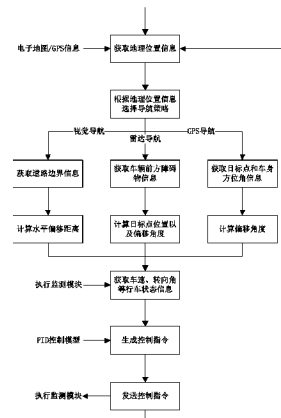
(54) 发明名称

一种无人驾驶汽车的导航方法

(57) 摘要

一种无人驾驶汽车的导航方法, 其步骤为:

(1) 集成视觉导航、雷达导航和 GPS 导航三种导航策略; (2) 依据电子地图和 GPS 信号计算出车辆当前的地理位置信息; (3) 根据车辆当前的地理位置信息选择导航策略: 视觉导航策略的优先级最高, 如果与视觉导航策略对应的视觉导航模块所感知识别的道路边界信息不准确或者不稳定, 则优先选择雷达导航策略; 如果与雷达导航策略对应的激光雷达探测模块识别的障碍物信息不准确或者不稳定, 则选择 GPS 导航策略。本发明具有原理简单、适用范围广、导航精度高、可控性和可靠性好等优点。



CN 102393744 B

1. 一种无人驾驶汽车的导航方法,其特征在于,步骤为:

(1) 集成视觉导航、雷达导航和 GPS 导航三种导航策略;

(2) 依据电子地图和 GPS 信号计算出车辆当前的地理位置信息;

(3) 根据车辆当前的地理位置信息选择导航策略:视觉导航策略的优先级最高,如果与视觉导航策略对应的视觉导航模块所感知识别的道路边界信息不准确或者不稳定,则优先选择雷达导航策略;如果与雷达导航策略对应的激光雷达探测模块识别的障碍物信息不准确或者不稳定,则选择 GPS 导航策略;

所述视觉导航策略的步骤为:

(1.1) 获取车辆当前的道路边界信息,计算车辆的安全行驶边界;即,从视频模块接收到的前方道路边界线,先定义一个汽车行驶的安全距离,它是汽车距离车道边界线的距离,作为参考轨迹线,参考轨迹线就是与车道边界线保持有安全距离的平行线;

(1.2) 判断汽车是否在安全道路区域行驶,如果是则不需要进行转向控制;如果不是,则需要计算出预瞄点与安全区域对应边界的水平距离,作为 PID 控制模型的输入量,最终计算出控制量生成控制指令;即,找到当前道路环境下的预瞄点,根据预瞄点控制车辆的行为,以预瞄点与参考轨迹线 X 轴方向偏差作为输入,经过 PID 控制模型中的算法计算输出方向控制量,进而汽车根据方向控制量执行方向校正,然后进入第二轮输入;以此循环,直到将车体校正到正确的方向。

2. 根据权利要求 1 所述的无人驾驶汽车的导航方法,其特征在于,所述雷达导航策略的步骤为:

(2.1) 获取车辆当前的前方障碍物信息,计算出目标点位置和车身方位角;

(2.2) 得出车身方位角与目标角度的偏移量,以此作为 PID 控制模型的输入量,最终计算出控制量生成控制指令。

3. 根据权利要求 1 所述的无人驾驶汽车的导航方法,其特征在于,所述 GPS 导航策略的步骤为:

(3.1) 获取车辆当前的位置和目标点位置,以及电子罗盘提供的车身方位角信息;

(3.2) 得出车身方位角与目标角度的偏移量,以此作为 PID 控制模型的输入量,最终计算出控制量生成控制指令。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的无人驾驶汽车的导航方法,其特征在于,所述 PID 控制模型为位置式 PID 控制模型,所述位置式 PID 控制模型为下式:

$$u(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] + u_0$$

其中,  $K_I = \frac{K_p T_s}{T_I}$ ,  $K_D = \frac{K_p T_D}{T_s}$ ,  $u_0$  为控制量的基值,即  $k=0$  时的控制;  $u(k)$  为第  $k$  个采

样时刻的控制量;  $K_p$  为比例放大系数;  $K_I$  为积分放大系数;  $K_D$  为微分放大系数;  $T_s$  为采样周期;  $T_I$  为第一个采样周期;  $T_D$  为回路的微分周期;为了求和,将系统偏差的全部过去值  $e(j)$  都存储起来,其中  $j=1, 2, 3, \dots, k$ ;将上式中的  $u(k)$  作为控制量的全量输出,是控制量的绝对数值。

## 一种无人驾驶汽车的导航方法

### 技术领域

[0001] 本发明主要涉及到汽车自动控制领域,特指一种适用于无人驾驶汽车的导航方法。

### 背景技术

[0002] 无人驾驶汽车是一种依靠车内以计算机系统为主的智能设备来实现无人驾驶的汽车,也可以称为轮式移动机器人。它集计算机体系结构、人工智能、视觉计算、自动控制等众多技术于一体,是计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展的产物,也是衡量一个国家科研实力和工业水平的一个重要标志。无人驾驶汽车在军事国防、公共安全、城市交通、汽车制造等领域具有广阔的应用前景和潜在的实用价值,得到了世界许多国家的高度重视。

[0003] 无人驾驶汽车的控制技术是保证其能够安全稳定可靠行驶的基础和关键,而且它比普通汽车的控制系统要复杂很多,因为它将传统的“路-人-车”闭环控制方式中的“人”请出来,形成“路-车”闭环控制系统,虽然可以提高安全性和系统效率,但是对控制系统的稳定性和可靠性的要求就变得非常高了。常见的无人驾驶汽车控制系统设计方法是:先建立车体的运动学模型,寻找无人驾驶汽车的状态变量与控制参量的关系;然后设计有效的控制器模型,实现无人驾车小误差甚至无误差的轨迹跟踪。

[0004] 国内外的学者采用现代控制理论设计出较多控制算法,取得了较多成绩。但其应用环境多为室内,被跟踪轨迹事先已知,其控制方法是将车体的横向位移、纵向位移、纵向速度、转动的角速度等均作为被控量,且是建立平面直角坐标系内的全局控制,这对于被跟踪轨迹事先未知且应用环境复杂的城市交通系统是难以实现的;或者虽然其应用环境为室外,但是大多基于单一的导航方式,如意大利帕尔马大学采用的视觉导行系统,清华大学和武汉大学采用的雷达导航系统,上海交通大学采用的GPS导航系统等等,控制效果的动态特性、稳态精度均不理想。因此,结合多类导航策略并利用决策算法来实现不同行车环境中不同导航策略的选择,可以更好地提高行车的稳定性和鲁棒性。此外,现有的视觉导航方法大多采用以车道的中心线为参考目标,选定一个预瞄点后计算预瞄点与中心线的偏移距离,并以此作为参考量将车辆控制在中心线附近行驶。这类方法的缺点是对车辆的控制频率较高,效率低,而且控制算法对参数较敏感,不容易实现对车辆的稳定控制。采用安全区域控制的方法,把目标定为将车辆控制在安全区域内行驶,可以有效降低对车辆的控制频率,提高控制的效率和稳定性。

[0005] 另外,现有的无人驾驶汽车导航系统通常还存在这些问题:组件模块紧耦合,数据交换复杂、不够灵活,对系统改动非常敏感;采用自定义的硬件和软件平台,限制了组件的交互性和重构性;计算/功耗受限,系统监控和重构时进行独立操作和分布式通信的计算要求难以满足。

### 发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题就在于：针对现有技术存在的技术问题，本发明提供一种原理简单、适用范围广、导航精度高、可控性和可靠性好的无人驾驶汽车的导航方法。

[0007] 为解决上述技术问题，本发明采用以下技术方案：

[0008] 一种无人驾驶汽车的导航方法，其步骤为：

[0009] (1) 集成视觉导航、雷达导航和 GPS 导航三种导航策略；

[0010] (2) 依据电子地图和 GPS 信号计算出车辆当前的地理位置信息；

[0011] (3) 根据车辆当前的地理位置信息选择导航策略：视觉导航策略的优先级最高，如果与视觉导航策略对应的视觉导航模块所感知识别的道路边界信息不准确或者不稳定，则优先选择雷达导航策略；如果与雷达导航策略对应的激光雷达探测模块识别的障碍物信息不准确或者不稳定，则选择 GPS 导航策略。

[0012] 作为本发明的进一步改进：

[0013] 所述视觉导航策略的步骤为：

[0014] (1.1) 获取车辆当前的道路边界信息，计算车辆的安全行驶边界；

[0015] (1.2) 判断汽车是否在安全道路区域行驶，如果是则不需要进行转向控制；如果不是，则需要计算出预瞄点与安全区域对应边界的水平距离，作为 PID 控制模型的输入量，最终计算出控制量生成控制指令。

[0016] 所述雷达导航策略的步骤为：

[0017] (2.1) 获取车辆当前的前方障碍物信息，计算出目标点位置和车身方位角；

[0018] (2.2) 得出当前行车角度与目标角度的偏移量，以此作为 PID 控制模型的输入量，最终计算出控制量生成控制指令。

[0019] 所述 GPS 导航策略的步骤为：

[0020] (3.1) 获取车辆当前的位置和目标点位置，以及电子罗盘提供的车身方位角信息；

[0021] (3.2) 得出当前行车角度与目标角度的偏移量，以此作为 PID 控制模型的输入量，最终计算出控制量生成控制指令。

[0022] 所述 PID 控制模型为位置式 PID 控制模型，所述位置式 PID 控制模型为下式：

$$[0023] \quad u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] + u_0$$

[0024] 其中， $K_I = \frac{K_p T_s}{T_I}$ ， $K_D = \frac{K_p T_D}{T_s}$ ， $u_0$  为控制量的基值，即  $k = 0$  时的控制； $u(k)$  为第  $k$  个采样时刻的控制； $T_D$  为回路的微分周期； $K_p$  为比例放大系数； $K_I$  为积分放大系数； $K_D$  为微分放大系数； $T_s$  为采样周期； $T_I$  为第一个采样周期； $T_D$  为回路的微分周期；为了求和，将系统偏差的全部过去值  $e(j)$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, k$ ) 都存储起来；上式中的  $u(k)$  为控制量的全量输出，是控制量的绝对数值。

[0025] 与现有技术相比，本发明的优点在于：

[0026] (1) 本发明的导航方法集成了三种不同的策略：视觉导航、雷达导航和 GPS 导航，可根据车辆当前地理位置信息选择不同的导航策略，并根据车辆的行车特性建立 PID 控制模型，以实现车辆的鲁棒控制；

[0027] (2) 本发明中视觉导航方法不同于现有的以车道中心线为参考目标的导航方法，

采用设置安全行驶区域的控制策略,仅当车辆在安全区域外行驶时才对车辆进行转向控制,这种方法可实现对车辆更稳定和更有效的导航控制;

[0028] (3) 本发明具有稳定性好、可扩展性强和灵活度高等特点,能够很好地满足当前无人驾驶汽车各类应用需求。

#### 附图说明

[0029] 图 1 是本发明导航方法的流程示意图;

[0030] 图 2 是本发明中视觉导航策略的流程示意图;

[0031] 图 3 是本发明中 PID 控制模型的原理示意图;

[0032] 图 4 是采用本发明方法的具体应用实例的框架结构示意图;

[0033] 图 5 是具体应用实例中上层网关处理的流程示意图;

[0034] 图 6 是具体应用实例中执行监测模块工作的流程示意图。

#### 具体实施方式

[0035] 以下将结合说明书附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明。

[0036] 如图 1 所示,本发明无人驾驶汽车的导航方法,其步骤为:

[0037] (1) 集成视觉导航、雷达导航和 GPS 导航三种导航策略;

[0038] (2) 依据电子地图和 GPS 信号计算出车辆当前的地理位置信息;

[0039] (3) 根据车辆当前的地理位置信息选择导航策略:视觉导航策略的优先级最高,如果与视觉导航策略对应的视觉导航模块所感知识别的道路边界信息不准确或者不稳定,则优先选择雷达导航策略;如果与雷达导航策略对应的激光雷达探测模块识别的障碍物信息不准确或者不稳定,则选择 GPS 导航策略。

[0040] 本实施例中,在事先制定的电子地图中记录了各种导航算法在该路段的可信度信息,因此算法不需要重复判断算法的可信度。

[0041] 如图 2 所示,在本实施例中,视觉导航策略的步骤为:

[0042] (1.1) 获取车辆当前的道路边界信息,计算车辆的安全行驶边界;

[0043] (1.2) 判断汽车是否在安全道路区域行驶,如果是则不需要进行转向控制;如果不是,则需要计算出预瞄点与安全区域对应边界的水平距离,作为 PID 控制模型的输入量,最终计算出控制量生成控制指令。

[0044] 本实施例中,雷达导航策略的步骤为:

[0045] (2.1) 获取车辆当前的前方障碍物信息,计算出目标点位置和车身方位角;

[0046] (2.2) 得出当前行车角度与目标角度的偏移量,以此作为 PID 控制模型的输入量,最终计算出控制量生成控制指令。

[0047] 本实施例中,GPS 导航策略的步骤为:

[0048] (3.1) 获取车辆当前的位置和目标点位置,以及电子罗盘提供的车身方位角信息;

[0049] (3.2) 得出当前行车角度与目标角度的偏移量,以此作为 PID 控制模型的输入量,最终计算出控制量生成控制指令。

[0050] 本实施例中,PID 控制模型采用位置式 PID 控制模型,该位置式 PID 控制模型为下

式：

$$[0051] \quad u(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)] + u_0$$

[0052] 其中,  $K_I = \frac{K_p T_s}{T_I}$ ,  $K_D = \frac{K_p T_D}{T_s}$ ,  $u_0$  为控制量的基值, 即  $k = 0$  时的控制;  $u(k)$  为第  $k$  个采样时刻的控制;  $K_p$  为比例放大系数;  $K_I$  为积分放大系数;  $K_D$  为微分放大系数;  $T_s$  为采样周期;  $T_I$  为第一个采样周期;  $T_D$  为回路的微分周期; 为了求和, 将系统偏差的全部过去值  $e(j)$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, k$ ) 都存储起来; 上式中的  $u(k)$  为控制量的全量输出, 是控制量的绝对数值。在控制系统中, 这种控制量确定了执行机构的位置, 例如在阀门控制中, 这种算法的输出对应了阀门的位置 (开度)。所以, 将这种算法称为“位置算法”

[0053] 如图 3 所示, 图中的车道线为从视频模块接收到的前方道路直线。为了使汽车安全行驶, 先定义一个汽车行驶的安全距离, 它是汽车距离车道线的距离, 也就是图中的参考轨迹线。通过对驾驶员的驾驶行为进行分析可知, 车辆的控制是一个典型的预瞄控制行为, 驾驶员找到当前道路环境下的预瞄点, 根据预瞄点控制车辆的行为。对车辆控制的目的就是要让车体前进方向尽量快、稳、准的与参考轨迹线重合, 根据位置式 PID 控制模型的原理, 以预瞄点与参考轨迹线 X 轴方向偏差作为输入, 经过 PID 控制模型中的算法计算输出方向控制量, 进而汽车根据方向量执行方向校正, 然后进入第二轮输入; 以此循环, 直到将车体校正到正确的方向。在图中就是参考轨迹线与 Y 轴重合, 也就是预瞄点与参考轨迹线 X 轴方向偏差越小, 则稳合度越高。

[0054] 图 4 所示为采用了本发明方法后的一个具体应用实例, 它为一个适用于无人驾驶汽车的导航系统。整个系统在物理上可分为上下两层, 上层主要负责行车环境信息的获取以及行车决策的制定, 采用分布式计算模式, 由六大功能模块松耦合组成, 主要包括: 视觉感知模块、激光雷达探测模块、定位导航模块、数据融合与决策模块、上层网关和远程监控模块, 模块之间相互独立, 以星形结构连接到以太网中, 并根据 TCP/IP 协议和相应的通信规范进行数据交互。本发明提出的导航方法主要位于数据融合与决策模块中, 它通过以太网接收其他模块的感知数据, 并发送生成的控制指令; 系统的下层即为执行监测模块, 它通过步进电机直接与汽车机械部件交互, 主要负责行车指令的执行和行车状态的反馈, 控制对象包括汽车的转向、油门、刹车和档位。由上可知, 本发明采用分层控制和分布式计算结构, 将导航算法和监测执行模块在物理上分离, 以增加控制的灵活性和可扩展性, 同时降低系统功耗。

[0055] 本实施例中, 在计算了各导航策略对应的偏移量以后, 还需要读取执行监测模块发送过来的车辆当前行车状态信息, 以此作为 PID 控制模型的另一个输入量。最后, 利用 PID 控制模型生成相应的控制指令后, 算法将控制指令进行封装, 通过以太网发送到上层网关。

[0056] 如图 5 所示, 上层网关主要负责信息的传递和解析工作, 即控制指令生成以后, 经以太网到达上层网关, 并由网关进行数据解析和封装, 然后通过 RS232 接口发送到执行监测模块, 后者负责指令的最终执行。

[0057] 如图 6 所示, 在具体应用实例中, 执行监测模块采用 C8051F020 单片机作为控制芯片, 片内资源包括 4K 字节 RAM、64K 字节 flash, 一个 12 位和一个 8 位的 AD 转换器, 可满足

程序控制和通讯的需求。控制程序采用纯汇编代码编写,可实现对汽车受控对象的闭环鲁棒控制,其包含两个相对独立的任务:指令执行和状态反馈,前者主要接收 RS232 接口上的控制指令,并将其转化为对步进电机的操作;后者主要从车载传感器中获取实时的行车状态信息,如车速、转向角、档位等,并将这些信息封装后通过 RS232 接口发送到上层网关。

[0058] 以上仅是本发明的优选实施方式,本发明的保护范围并不局限于上述实施例,凡属于本发明思路下的技术方案均属于本发明的保护范围。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理前提下的若干改进和润饰,应视为本发明的保护范围。

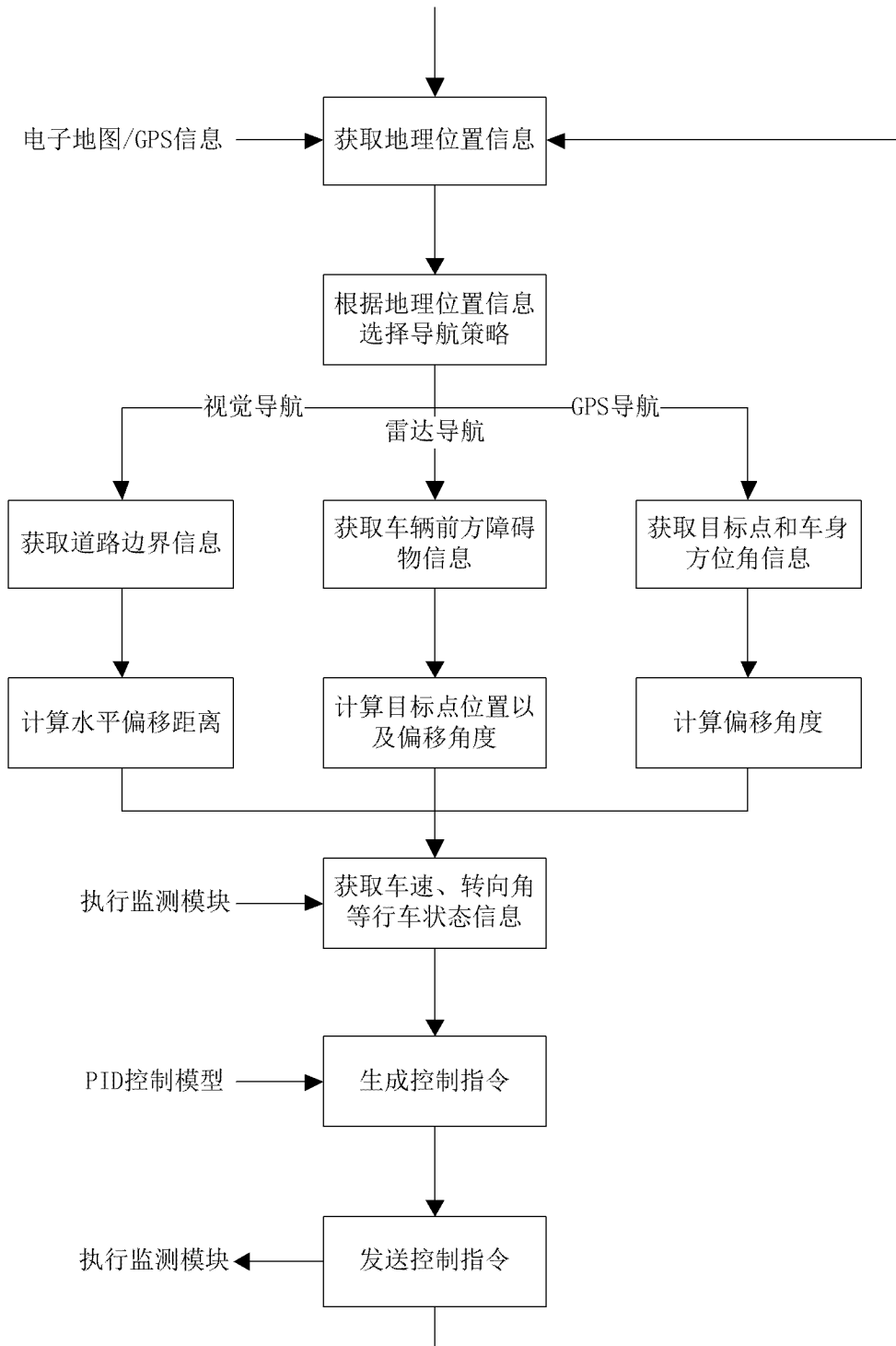


图 1



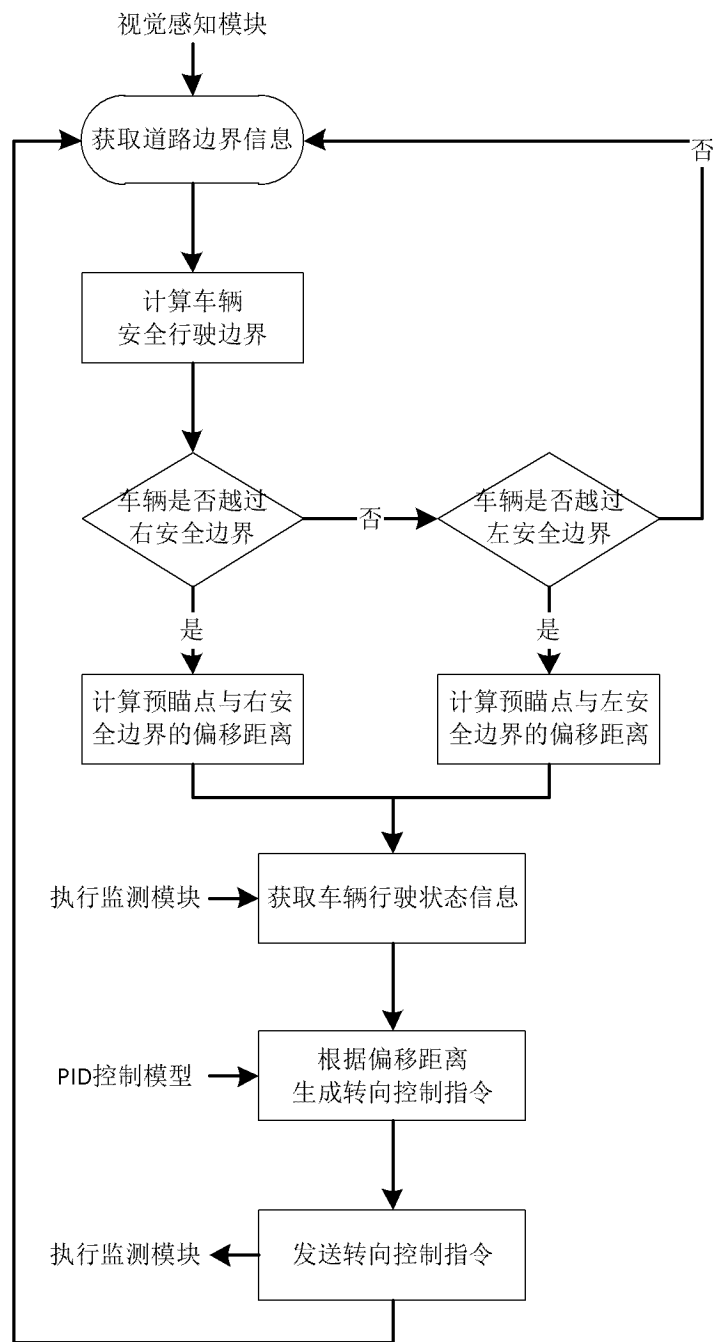


图 2

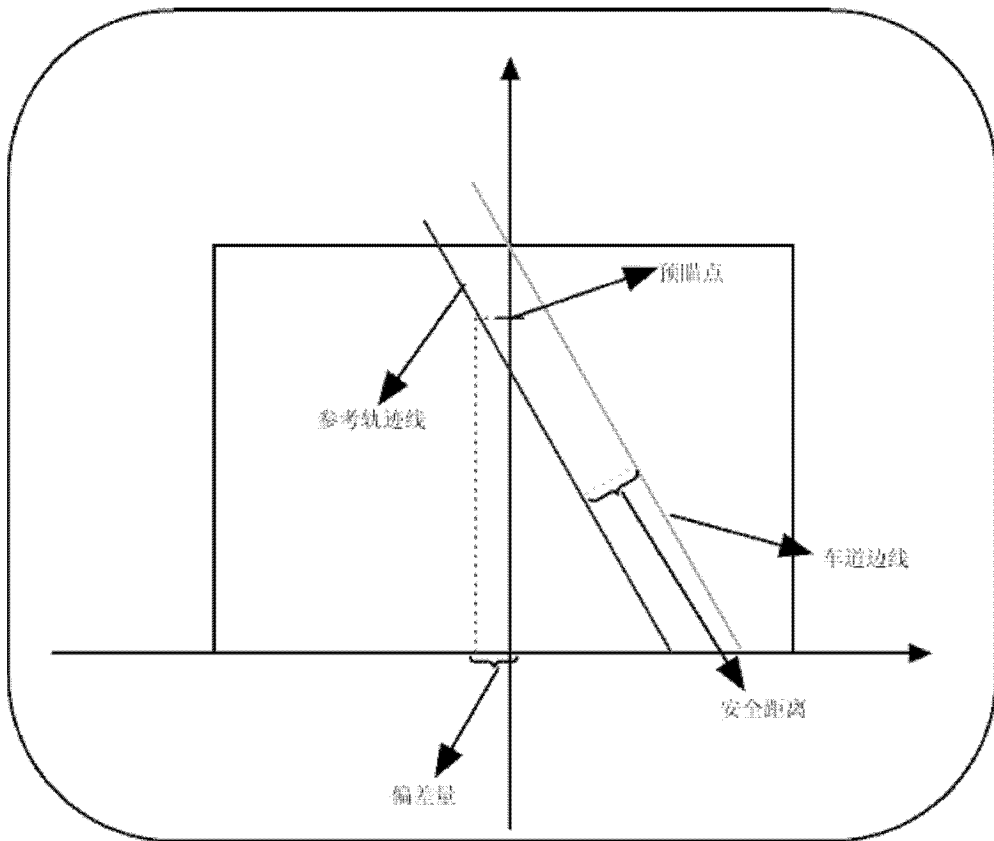


图 3

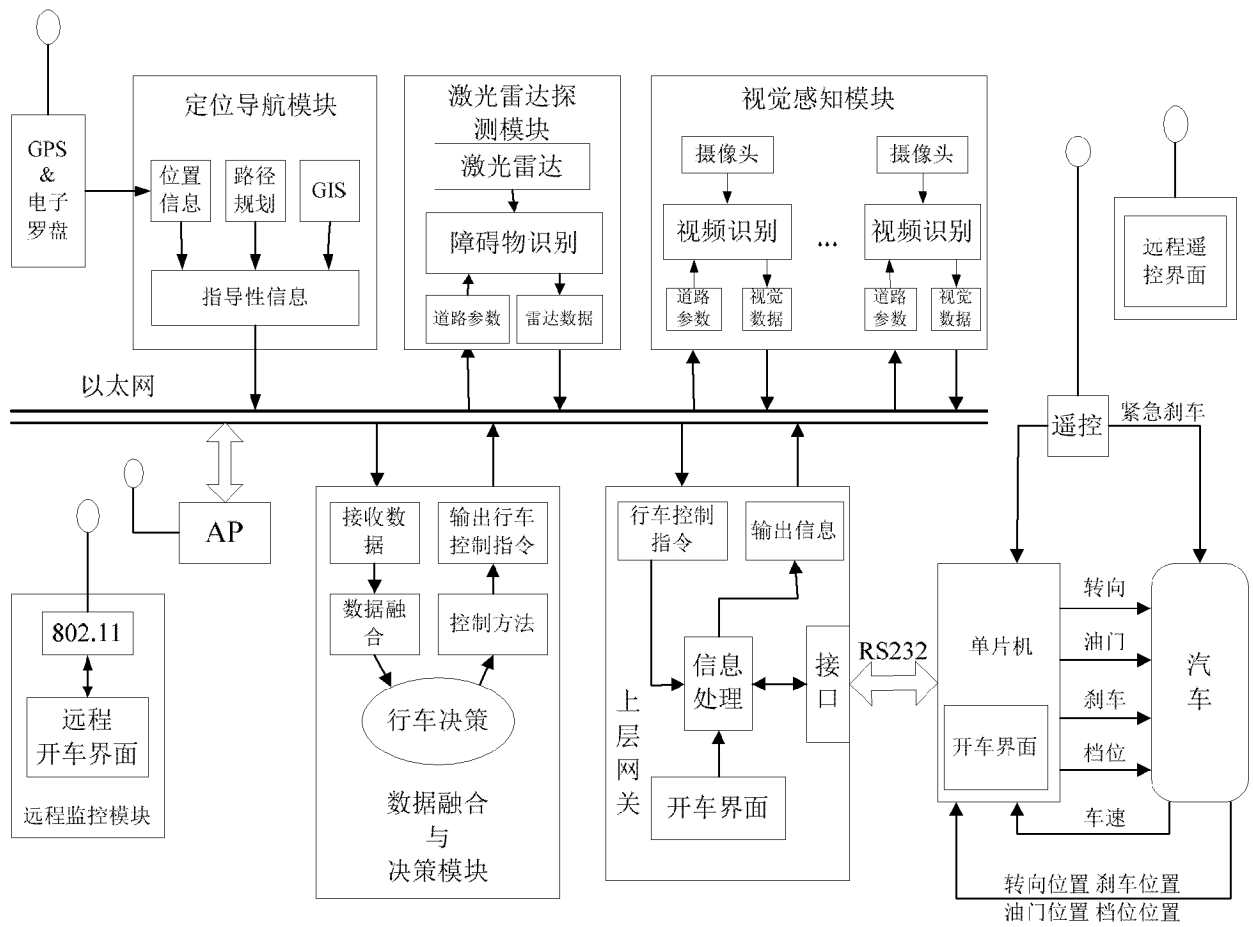


图 4

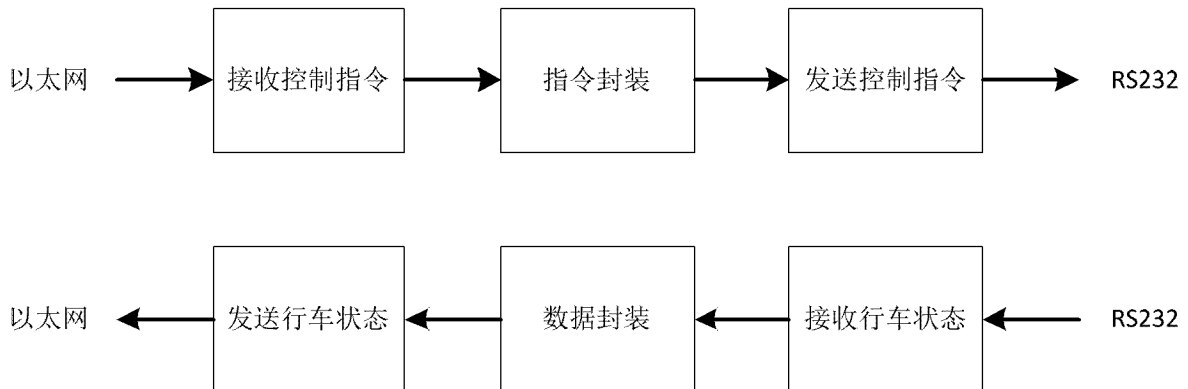


图 5

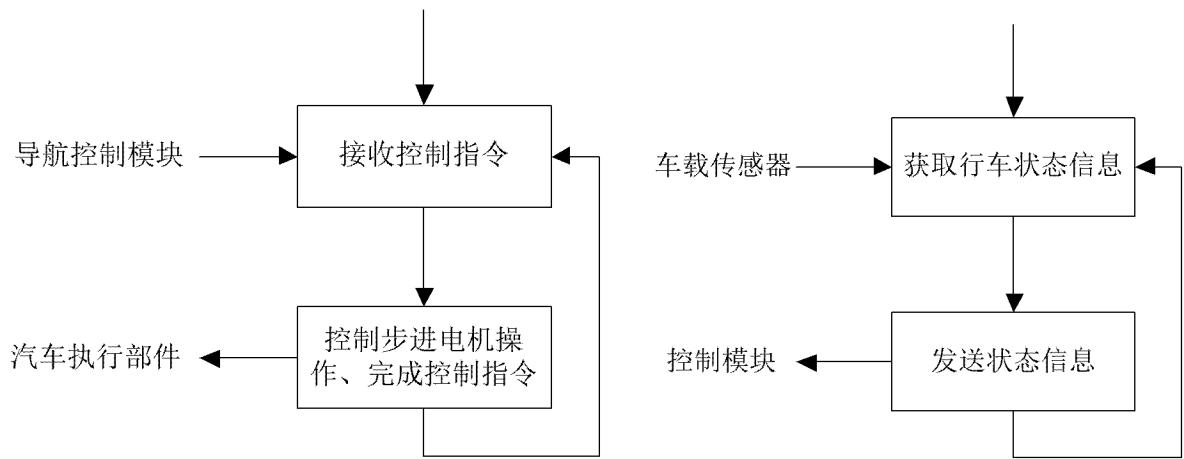


图 6