

说明书摘要

一种基于多驾驶模式切换的无人车辆控制方法

本发明公开了一种基于多驾驶模式切换的无人车辆控制方法,属于无人驾驶控制技术领域,其特征在于,根据无人车辆在驾驶过程中的状态变化量(包括车辆控制信号传输延迟时间 τ 、车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ),将无人车辆的驾驶过程划分为驾驶模式1(无偏差正常驾驶)、驾驶模式2(小偏差驾驶)、驾驶模式3(大偏差驾驶)、驾驶模式4(人工远程遥控驾驶)、驾驶模式5(车辆停止)的五种驾驶模式,并对每一种驾驶模式设计了相应的稳定控制方法。在实际驾驶中,根据车载传感器测得的无人车辆驾驶状态变化量,无人车辆可以自动切换至相应的驾驶模式,安全、稳定的完成驾驶工作。本发明对复杂道路环境下的无人车辆驾驶系统具有很好的应用效果,增强了系统的安全性和鲁棒性,在无人驾驶控制领域具有很好的工程应用价值。

权 利 要 求 书

1. 一种基于多驾驶模式切换的无人车辆控制方法，其特征为：

步骤 1：基于无人车辆在驾驶过程中的状态变化量，主要包括“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”，将无人车辆的驾驶划分为驾驶模式 1（无偏差正常驾驶）、驾驶模式 2（小偏差驾驶）、驾驶模式 3（大偏差驾驶）、驾驶模式 4（人工远程遥控驾驶）、驾驶模式 5（车辆停止）的五种驾驶模式；

步骤 2：在无人车辆驾驶过程中，由车载传感器实时测出无人车辆驾驶的状态变化量，并实时发送至无人车辆控制中心处理单元；

步骤 3：无人车辆控制中心处理单元接收无人车辆驾驶状态量，并结合无人车辆驾驶模式自动切换标准与逻辑，将无人车辆自动切换至相应的驾驶模式，通过该模式下相应的控制方法，对无人驾驶车辆进行相应的控制操作；

步骤 4：判断无人车辆是否到达目的地，完成驾驶工作，若完成则停止驾驶；否则转到步骤 2。

2. 权利要求 1 所述的无人车辆五种驾驶模式，其特征在于：

选取由车载传感器测得的“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”作为五种驾驶模式的划分依据，可以将五种模式及在该模式对应的控制方法具体表示为：

驾驶模式 1（无偏差正常驾驶）：当无人车辆无偏差的正常驾驶时，“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”均为一个可以忽略的较小值。此时，可认定车辆已行驶在预定路径上，并不需要任何控制干涉，系统维持现有驾驶状态；无偏差正常驾驶下的车辆自身轴距 B 、路径曲率半径 ρ 和车轮偏转角度 δ 之间存在如下关系：

$$R = \frac{B}{\tan \delta} = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

其中， R 可具体表示为：

$$R = \frac{1}{\rho} = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{|y''|} \quad (2)$$

其中， y 为预定路径坐标曲线方程，故上式中 y' 和 $|y''|$ 由预定路径坐标曲线方程的一阶、二阶导数得出。

驾驶模式 2（小偏差驾驶）：当无人车辆受道路环境阻尼力矩影响或其他微小因素干扰出现较小偏离时，“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的

横向偏差 μ ”为不可忽略的小值。此时，可认定车辆正以小偏差进行驾驶，需采用校正函数对无人车辆的路线进行纠正使其返回至预定期望路线。校正函数是关于车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ 和车轮偏转角度 δ 的函数，具体可以表示为：

$$\frac{\delta(s)}{\mu(s)} = \frac{h}{1 + \tau s} \quad (3)$$

其中， h 为比例因子。

驾驶模式 3（大偏差驾驶）：当车辆导航信号丢失，“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”或“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”较大，造成无人车辆过度偏离预定期望路线时，可认定车辆正在以大偏差进行驾驶，此时，需调整无人车辆位置，并基于样条插值的方法补充失去驾驶控制信号的路段，使无人车辆返回至预定期望路线。

驾驶模式 4（人工远程遥控驾驶）：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”或“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”较大且超出设定的安全阈值时，表示无人驾驶车辆长时间偏离预定期望路线且长时间以大偏差驾驶，此时普通的修正方法不再有效，机器处于盲执行阶段，需切换至人工远程遥控驾驶模式。

驾驶模式 5（车辆停止）：在车辆停止的驾驶模式下，表面无人车辆不再行驶，此时车辆速度为零。其中，切换至该驾驶模式的原因包括：

- ① 操作员人工控制：操作员可以在任一工作状态下，停止无人车辆驾驶系统；
- ② 通信信号长时间丢失：当无人车辆长时间无法接收到控制信号时，停止驾驶；
- ③ 遇到无法通行的障碍物：当车载传感器探测到障碍物时，发出警报，并及时停止；
- ④ 无人车辆到达目的地，完成驾驶工作。

其中，驾驶模式 1、2、3 同时也属于无人车辆的原自动驾驶模式。

3. 权利要求 1 所述的无人车辆驾驶模式自动切换标准与逻辑，其特征在于：

步骤①：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\tau \approx 0$ 、 $\mu \approx 0$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 1，此时无需进行驾驶模式切换；

步骤②：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $0 < \tau < \lambda_0$ 、 $\mu \leq \mu_1$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 2，此时需采用校正函数进行驾驶路径的纠正，使无人车辆驾驶模式切换至驾驶模式 1；

步骤③：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\lambda_0 \leq \tau < \lambda_1$ 、 $\mu > \mu_1$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 3，此时需采用样条插

值函数进行驾驶路径的补充，使无人车辆驾驶模式先切换至驾驶模式 2，后切换至驾驶模式 1；

步骤④：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\lambda_1 \leq \tau < \lambda_2$ 、 $\mu > \mu_1$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 4，此时切换为人工远程遥控驾驶模式；

步骤⑤：当无人车辆处于驾驶模式 4 时，在无人车辆远程遥控信号传输正常的情况下，即当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”仍满足 $\lambda_1 \leq \tau < \lambda_2$ 时，由操作员人工调整驾驶路径，当无人车辆返回预定期望路线后，判断车辆状态变化量是否恢复正常（即原自动驾驶导航信号是否恢复），若正常则切换至驾驶模式 1，并转到步骤①；否则保持人工远程驾驶模式，或停止驾驶切换至驾驶模式 5；

在无人车辆远程遥控信号传输不正常的情况下，即当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”满足 $\tau \geq \lambda_2$ 时，表明无人车辆长时间无法接收远程遥控信号，车辆需要紧急停止，切换至驾驶模式 5。

其中， $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 是根据不同驾驶道路和驾驶作业情况设定的不同驾驶模式的临界切换时间阈值， μ_1 为车辆偏离预定期望路线的横向偏差临界阈值。

说明书

一种基于多驾驶模式切换的无人车辆控制方法

技术领域

本发明涉及一种无人车辆驾驶控制方法，尤其是一种基于多驾驶模式切换的无人车辆控制方法，属于无人驾驶控制技术领域。

背景技术

无人车辆控制是一种自动驾驶控制技术，是指车辆能够依据车载传感器对周围环境条件进行感知，并基于控制算法做出分析和判断，从而自主进行运动控制，成功跟踪预定期望路线，最终实现无人驾驶。

在无人车辆驾驶过程中，往往会受到来自复杂外部环境变换、信号传输延迟、突发障碍等众多不确定因素的干扰。且受限于当前的人工智能水平，完全基于单一模式的无人车辆自动驾驶控制具有较高的不确定性和不可靠性。因此，在现有技术的研究中，大多采用“有条件自动驾驶技术”，即驾驶员仍然需要实时监控环境，正常情况下车辆工作在无人驾驶模式下，在不适于无人驾驶的复杂道路环境时，人工切入进行操控，实现无人车辆的局部自动驾驶。然而现存的无人车辆驾驶模式存在如下三个主要问题：1) 现有的“有条件自动驾驶技术”的切换控制还需要驾驶员在车辆的驾驶舱内，并没有真正改善驾驶员的作业环境；2) 现有的“有条件自动驾驶技术”并未对驾驶模式进行精细划分，是一种“自动驾驶模式”直接向“人工驾驶模式”切换的控制方法，然而随着现有自动控制技术的不断提升，在一定误差范围内，可以通过相关控制方法及时纠正自动驾驶模式下无人车辆的驾驶路径，无需直接转换至人工驾驶模式，从而更多的将驾驶操作员从复杂的道路工作环境中解放出来；3) 现有的“有条件自动驾驶技术”缺少精细、可靠的驾驶模式切换标准与逻辑，更多的需要依靠驾驶操作员的经验决定，从而增加了驾驶操作员的工作强度，降低了驾驶精度。

因此，亟需研究一种更有效的基于切换驾驶模式的无人车辆控制方法。

发明内容

为了克服现有技术的缺陷，本发明提出一种基于多驾驶模式切换的无人车辆控制方法，来降低不同道路环境及其他因素对无人车辆安全驾驶的影响，提高无人车辆驾驶技术的安全性和可靠性，

为实现上述目的，本发明采用以下技术方案：

本发明所述的一种无人车辆驾驶控制方法：

步骤 1：基于无人车辆在驾驶过程中的状态变化量，主要包括“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”，将无人车辆的驾驶划分为驾

驶模式 1（无偏差正常驾驶）、驾驶模式 2（小偏差驾驶）、驾驶模式 3（大偏差驾驶）、驾驶模式 4（人工远程遥控驾驶）、驾驶模式 5（车辆停止）的五种驾驶模式；

步骤 2：在无人车辆驾驶过程中，由车载传感器实时测出无人车辆驾驶的状态变化量，并实时发送至无人车辆控制中心处理单元；

步骤 3：无人车辆控制中心处理单元接收无人车辆驾驶状态量，并结合无人车辆驾驶模式自动切换标准与逻辑，将无人车辆自动切换至相应的驾驶模式，通过该模式下相应的控制方法，对无人驾驶车辆进行相应的控制操作；

步骤 4：判断无人车辆是否到达目的地，完成驾驶工作，若完成则停止驾驶；否则转到步骤 2。

本发明所述的“无人车辆五种驾驶模式”，其特征在于：

选取由车载传感器测得的“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”作为五种驾驶模式的划分依据，可以将五种模式及在该模式对应的控制方法具体表示为：

驾驶模式 1（无偏差正常驾驶）：当无人车辆无偏差的正常驾驶时，“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”均为一个可以忽略的较小值。此时，可认定车辆已行驶在预定路径上，并不需要任何控制干涉，系统维持现有驾驶状态；无偏差正常驾驶下的车辆自身轴距 B 、路径曲率半径 ρ 和车轮偏转角度 δ 之间存在如下关系：

$$R = \frac{B}{\tan \delta} = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

其中， R 可具体表示为：

$$R = \frac{1}{\rho} = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{|y''|} \quad (2)$$

其中， y 为预定路径坐标曲线方程，故上式中 y' 和 $|y''|$ 由预定路径坐标曲线方程的一阶、二阶导数得出。

驾驶模式 2（小偏差驾驶）：当无人车辆受道路环境阻尼力矩影响或其他微小因素干扰出现较小偏离时，“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”为不可忽略的小值。此时，可认定车辆正以小偏差进行驾驶，需采用校正函数对无人车辆的路线进行纠正使其返回至预定期望路线。校正函数是关于车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ 和车轮偏转角度 δ 的函数，具体可以表示为：

$$\frac{\delta(s)}{\mu(s)} = \frac{h}{1 + \tau s} \quad (3)$$

其中， h 为比例因子。

驾驶模式 3 (大偏差驾驶): 当车辆导航信号丢失,“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”或“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”较大,造成无人车辆过度偏离预定期望路线时,可认定车辆正在以大偏差进行驾驶,此时,需调整无人车辆位置,并基于样条插值的方法补充失去驾驶控制信号的路段,使无人车辆返回至预定期望路线。

驾驶模式 4 (人工远程遥控驾驶): 当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”或“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”较大且超出设定的安全阈值时,表示无人驾驶车辆长时间偏离预定期望路线且长时间以大偏差驾驶,此时普通的修正方法不再有效,机器处于盲执行阶段,需切换至人工远程遥控驾驶模式。

驾驶模式 5 (车辆停止): 在车辆停止的驾驶模式下,表面无人车辆不再行驶,此时车辆速度为零。其中,切换至该驾驶模式的原因包括:

- ① 操作员人工控制: 操作员可以在任一工作状态下,停止无人车辆驾驶系统;
- ② 通信信号长时间丢失: 当无人车辆长时间无法接收到控制信号时,停止驾驶;
- ③ 遇到无法通行的障碍物: 当车载传感器探测到障碍物时,发出警报,并及时停止;
- ④ 无人车辆到达目的地,完成驾驶工作。

其中,驾驶模式 1、2、3 同时也属于无人车辆的原自动驾驶模式。

本发明所述的“无人车辆驾驶模式自动切换标准与逻辑,其特征在于:

步骤①: 当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\tau \approx 0$ 、 $\mu \approx 0$ 时,表明无人车辆处于驾驶模式 1,此时无需进行驾驶模式切换;

步骤②: 当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $0 < \tau < \lambda_0$ 、 $\mu \leq \mu_1$ 时,表明无人车辆处于驾驶模式 2,此时需采用校正函数进行驾驶路径的纠正,使无人车辆驾驶模式切换至驾驶模式 1;

步骤③: 当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\lambda_0 \leq \tau < \lambda_1$ 、 $\mu > \mu_1$ 时,表明无人车辆处于驾驶模式 3,此时需采用样条插值函数进行驾驶路径的补充,使无人车辆驾驶模式先切换至驾驶模式 2,后切换至驾驶模式 1;

步骤④: 当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\lambda_1 \leq \tau < \lambda_2$ 、 $\mu > \mu_1$ 时,表明无人车辆处于驾驶模式 4,此时切换为人工远程遥控驾驶模式;

步骤⑤: 当无人车辆处于驾驶模式 4 时,在无人车辆远程遥控信号传输正常的情况下,即当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”仍满足 $\lambda_1 \leq \tau < \lambda_2$ 时,由操作员人工调整

驾驶路径，当无人车辆返回预定期望路线后，判断车辆状态变化量是否恢复正常（即原自动驾驶导航信号是否恢复），若正常则切换至驾驶模式 1，并转到步骤①；否则保持人工远程驾驶模式，或停止驾驶切换至驾驶模式 5；

在无人车辆远程遥控信号传输不正常的情况下，即当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”满足 $\tau \geq \lambda_2$ 时，表明无人车辆长时间无法接收远程遥控信号，车辆需要紧急停止，切换至驾驶模式 5。

其中， $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 是根据不同驾驶道路和驾驶作业情况设定的不同驾驶模式的临界切换时间阈值， μ_1 为车辆偏离预定期望路线的横向偏差临界阈值。

本发明与现有技术相比，其显著优点：

- (1) 本发明基于无人车辆在驾驶过程中的状态变化量，将无人车辆的驾驶模式精细划分为五个标准驾驶模式，完整涵盖了无人车辆在驾驶过程中的全部驾驶情况，并针对五种驾驶模式提出对应的控制修正方法，使无人车辆可以有效跟踪预定期望路线，安全、高效的完成无人驾驶任务。
- (2) 本发明针对现有无人车辆驾驶中的安全切换驾驶问题，提出了一种高稳定性、高可靠性的多模式切换控制方法。通过设计无人车辆驾驶模式自动切换标准与逻辑，将原自动驾驶模式和人工远程驾驶模式相结合，以应对复杂多变的道路环境和未知干扰，使无人驾驶车辆在多传感器信息融合、传感器信息缺乏和传感器信息延迟的情况下具有很强的鲁棒性。

附图说明

- 图 1 是本发明提供的无人车辆驾驶控制方法总体流程示意图。
- 图 2 是本发明提供的无人车辆驾驶模式划分示意图。
- 图 3 是本发明提供的无人车辆驾驶模式自动切换流程示意图。

具体实施方式

现结合实施例对本发明做进一步描述：

实施例 1

参见图 1，本发明具体包括步骤如下：

步骤 1：基于无人车辆实际驾驶情况，主要包括“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”，将无人车辆的驾驶过程划分为驾驶模式 1（无偏差正常驾驶）、驾驶模式 2（小偏差驾驶）、驾驶模式 3（大偏差驾驶）、驾驶模

式 4（人工远程遥控驾驶）、驾驶模式 5（车辆停止）的五种驾驶模式；

步骤 2：在无人车辆驾驶过程中，由车载传感器实时测出无人车辆驾驶的状态变化量，主要包括无人车辆控制信号传输延迟时间、车辆偏离预定期望路线的横向偏差，并实时发送至无人车辆控制中心处理单元；

步骤 3：无人车辆控制中心处理单元接收无人车辆驾驶状态量，并结合无人车辆驾驶模式自动切换流程和自动切换流程，将无人车辆自动切换至相应的驾驶模式，通过该模式下相应的控制方法，对无人驾驶车辆进行相应的控制操作；

步骤 4：转到步骤 2。

实施例 2

参见图 2，本发明中，无人车辆五种驾驶模式及对应的控制方法，其特征在于：

选取由车载传感器测得的“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”作为五种驾驶模式的划分依据，可以将五种模式及在该模式对应的控制方法具体表示为：

驾驶模式 1（无偏差正常驾驶）：当无人车辆无偏差的正常驾驶时，“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”均为一个可以忽略的较小值。此时，可认定车辆已行驶在预定路径上，并不需要任何控制干涉，系统维持现有驾驶状态；无偏差正常驾驶下的车辆自身轴距 B 、路径曲率半径 ρ 和车轮偏转角度 δ 之间存在如下关系：

$$R = \frac{B}{\tan \delta} = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

其中， R 可具体表示为：

$$R = \frac{1}{\rho} = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{|y''|} \quad (2)$$

其中， y 为预定路径坐标曲线方程，故上式中 y' 和 $|y''|$ 由预定路径坐标曲线方程的一阶、二阶导数得出。

驾驶模式 2（小偏差驾驶）：当无人车辆受道路环境阻尼力矩影响或其他微小因素干扰出现较小偏离时，“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”为不可忽略的小值。此时，可认定车辆正以小偏差进行驾驶，需采用校正函数对无人车辆的路线进行纠正使其返回至预定期望路线。校正函数是关于车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ 和车轮偏转角度 δ 的函数，具体可以表示为：

$$\frac{\delta(s)}{\mu(s)} = \frac{h}{1 + \tau s} \quad (3)$$

其中， h 为比例因子。

驾驶模式3(大偏差驾驶):当车辆导航信号丢失,“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”或“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”较大,造成无人车辆过度偏离预定期望路线时,可认定车辆正在以大偏差进行驾驶,此时,需调整无人车辆位置,并基于样条插值的方法补充失去驾驶控制信号的路段,使无人车辆返回至预定期望路线。

其中,基于样条插值的方法是采用分段插值的思想,提取无人车辆导航系统中离中断点最近的 N 个行驶坐标有效点及前进方向,创造样条插值,构建平滑的路径。设原无人车辆期望曲线为 $f(x)$,现构造一条逼近于 $f(x)$ 的曲线 $S(x)$,使其满足在插值点上与 $f(x)$ 的值相同,任意两个节点之间为三次曲线,整条 $S(x)$ 曲线的二阶导数具有连续性。

已知在 $[a, b]$ 上的 $n+1$ 个给定结点 $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$ 的函数值为 y_0, y_1, \dots, y_n ,则由通过 x_0, x_1, \dots, x_n 的函数 $S(x)$ 满足下式:

(1) 插值连续性: $S_i(x_i) = y_i$ 及 $S_i(x_{i+1}) = y_{i+1}$ (其中 $i = 0, 1, \dots, n-1$)

(2) 微分连续性: $S'_i(x_{i+1}) = S'_{i+1}(x_{i+1})$ 及 $S''_i(x_{i+1}) = S''_{i+1}(x_{i+1})$ (其中 $i = 0, 1, \dots, n-2$)

(3) 样条曲线:

$$S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3 \quad (4)$$

$$S'_i(x) = b_i + 2c_i(x - x_i) + 3d_i(x - x_i)^2 \quad (5)$$

$$S''_i(x) = 2c_i + 6d_i(x - x_i) \quad (6)$$

其中, $S_i(x)$ 为相应子区间 $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ 的区间函数。

具体实施步骤如下:

步骤一:测量步长,将数据节点和端点条件代入方程进行推导。将步长 $h_i = x_{i+1} - x_i$ 代入样条曲线的条件,得到:

由 $S_i(x_i) = y_i$ 得到:

$$a_i = y_i \quad (7)$$

由 $S_i(x_{i+1}) = y_{i+1}$ 得到:

$$a_i + b_i h_i + c_i h_i^2 + d_i h_i^3 = y_{i+1} \quad (8)$$

由 $S'_i(x_{i+1}) = S'_{i+1}(x_{i+1})$ 推出 $\begin{cases} S'_i(x_{i+1}) = b_i + 2c_i h_i + 3d_i h_i^2 \\ S'_{i+1}(x_{i+1}) = b_{i+1} + 2c_{i+1} h_{i+1} + 3d_{i+1} h_{i+1}^2 = b_{i+1} \end{cases}$ 得到:

$$b_i + 2c_i h_i + 3d_i h_i^2 - b_{i+1} = 0 \quad (9)$$

由 $S''_i(x_{i+1}) = S''_{i+1}(x_{i+1})$ 得到:

$$2c_i + 6d_i h_i - 2c_{i+1} = 0 \quad (10)$$

步骤二:计算样条曲线系数。设 $m_i = S''_i(x_i) = 2c_i$,代入(10)式得到 $m_i + 6d_i h_i - m_{i+1} = 0$,可推出:

$$d_i = \frac{m_{i+1} - m_i}{6h_i} \quad (11)$$

将 c_i 、 d_i 代入 (8) 式得到：

$$b_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - \frac{h_i}{2} m_i - \frac{h_i}{6} (m_{i+1} - m_i) \quad (12)$$

将 b_i 、 c_i 、 d_i 代入 (6) 式得到：

$$h_i m_i + 2(h_i + h_{i+1}) m_{i+1} + h_{i+1} m_{i+2} = 6 \left[\frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+1}} - \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} \right] \quad (13)$$

故由此可以构造一个以 m 为未知数的线性方程组。

步骤三： 确定边界条件得到构造方程。

由 i 的取值范围可知，共有 $n-1$ 个公式，但却有 $n+1$ 个未知量 m ，故为了得到唯一的路径插值曲线 $S(x)$ ，对上述方程增加约束条件，从而满足方程求解要求。考虑到当无人车辆导航系统信号出现中断后，可获得中断点的行驶坐标（即插值起点坐标），却难以得到信号恢复点的行驶坐标（即插值终点坐标），故选取自然边界条件作为端点条件，也就是第二边界条件的特殊情况， $f(x)$ 的端点 $a = x_0$ ， $b = x_n$ 的二阶导数为 0， $S(x)$ 的边界应满足：

$$S(x_0) = f(x_0), S(x_n) = f(x_n), S''(x_0) = f''(x_0) = 0, S''(x_n) = f''(x_n) = 0 \quad (14)$$

设系数矩阵为 A ，具体表示如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ h_0 & 2(h_0 + h_1) & h_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & 0 & \vdots \\ 0 & \cdots & h_2 & 2(h_2 + h_3) & h_3 & \vdots \\ \vdots & \cdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & h_{n-2} & 2(h_{n-2} + h_{n-1}) & h_{n-1} \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

记：

$$m = [m_0, m_1, \cdots, m_n]^T \quad (16)$$

$$E = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{y_2 - y_1}{h_1} - \frac{y_1 - y_0}{h_0} \\ \frac{y_3 - y_2}{h_2} - \frac{y_2 - y_1}{h_1} \\ \frac{y_4 - y_3}{h_3} - \frac{y_3 - y_2}{h_2} \\ \vdots \\ \frac{y_n - y_{n-1}}{h_{n-1}} - \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-2}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

得到要求解的方程组为：

$$Am = 6E \quad (18)$$

从而最终得到唯一一条插值曲线 $S(x)$ ，也就是在信号中断情况下无人车辆的路径曲线。

驾驶模式 4（人工远程遥控驾驶）：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”或“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”较大且超出设定的安全阈值时，表示无人驾驶车辆长时间偏离预定期望路线且长时间以大偏差驾驶，此时普通的修正方法不再有效，机器处于盲执行阶段，需切换至人工远程遥控驾驶模式。

驾驶模式 5（车辆停止）：在车辆停止的驾驶模式下，表面无人车辆不再行驶，此时车辆速度为零。其中，切换至该驾驶模式的原因包括：

- ① 操作员人工控制：操作员可以在任一工作状态下，停止无人驾驶系统；
- ② 通信信号长时间丢失：当无人车辆长时间无法接收到控制信号时，停止驾驶；
- ③ 遇到无法通行的障碍物：当车载传感器探测到障碍物时，发出警报，并及时停止；
- ④ 无人车辆到达目的地，完成驾驶工作。

其中，驾驶模式 1、2、3 同时也属于无人车辆的原自动驾驶模式。

实施例 3

参见图 3，本发明中，无人车辆驾驶模式自动切换标准与逻辑，其特征在于：

步骤①：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\tau \approx 0$ 、 $\mu \approx 0$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 1，此时无需进行驾驶模式切换；

步骤②：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $0 < \tau < \lambda_0$ 、 $\mu \leq \mu_1$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 2，此时需采用校正函数进行驾驶路径的纠正，使无人车辆驾驶模式切换至驾驶模式 1；

步骤③：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\lambda_0 \leq \tau < \lambda_1$ 、 $\mu > \mu_1$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 3，此时需采用样条插值函数进行驾驶路径的补充，使无人车辆驾驶模式先切换至驾驶模式 2，后切换至驾驶模式 1；

步骤④：当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”和“车辆偏离预定期望路线的横向偏差 μ ”满足 $\lambda_1 \leq \tau < \lambda_2$ 、 $\mu > \mu_1$ 时，表明无人车辆处于驾驶模式 4，此时切换为人工远程遥控驾驶模式；

步骤⑤：当无人车辆处于驾驶模式 4 时，在无人车辆远程遥控信号传输正常的情况下，即当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”仍满足 $\lambda_1 \leq \tau < \lambda_2$ 时，由操作员人工调整驾驶路径，当无人车辆返回预定期望路线后，判断车辆状态变化量是否恢复正常（即原自动驾驶导航信号是否恢复），若正常则切换至驾驶模式 1，并转到步骤①；否则保持人工远程驾驶模式，或停止驾驶切换至驾驶模式 5；

在无人车辆远程遥控信号传输不正常的情况下，即当“车辆控制信号传输延迟时间 τ ”满足 $\tau \geq \lambda_2$ 时，表明无人车辆长时间无法接收远程遥控信号，车辆需要紧急停止，切换至驾驶模式 5。

其中， $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 是根据不同驾驶道路和驾驶作业情况设定的不同驾驶模式的临界切换时间阈值， μ_1 为车辆偏离预定期望路线的横向偏差临界阈值。

说明书附图

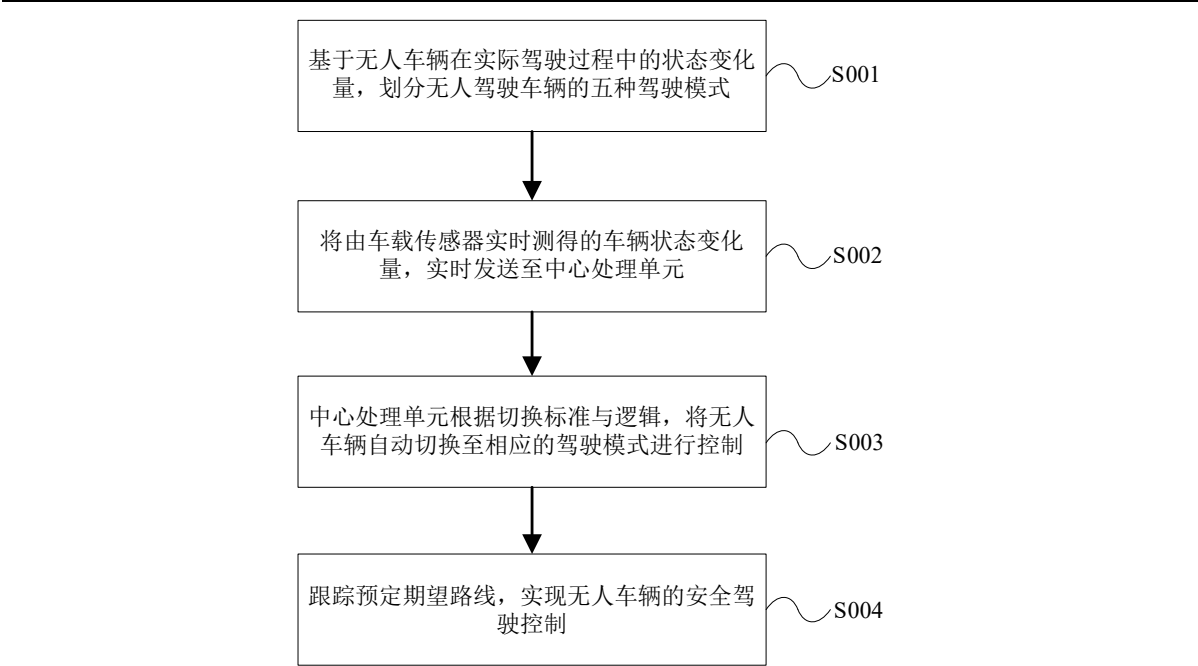


图 1

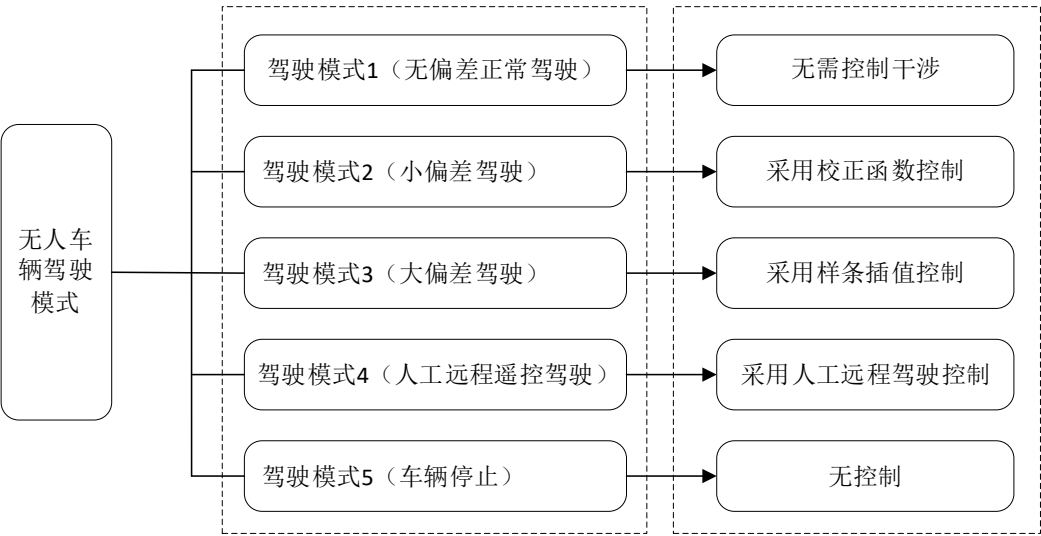


图 2

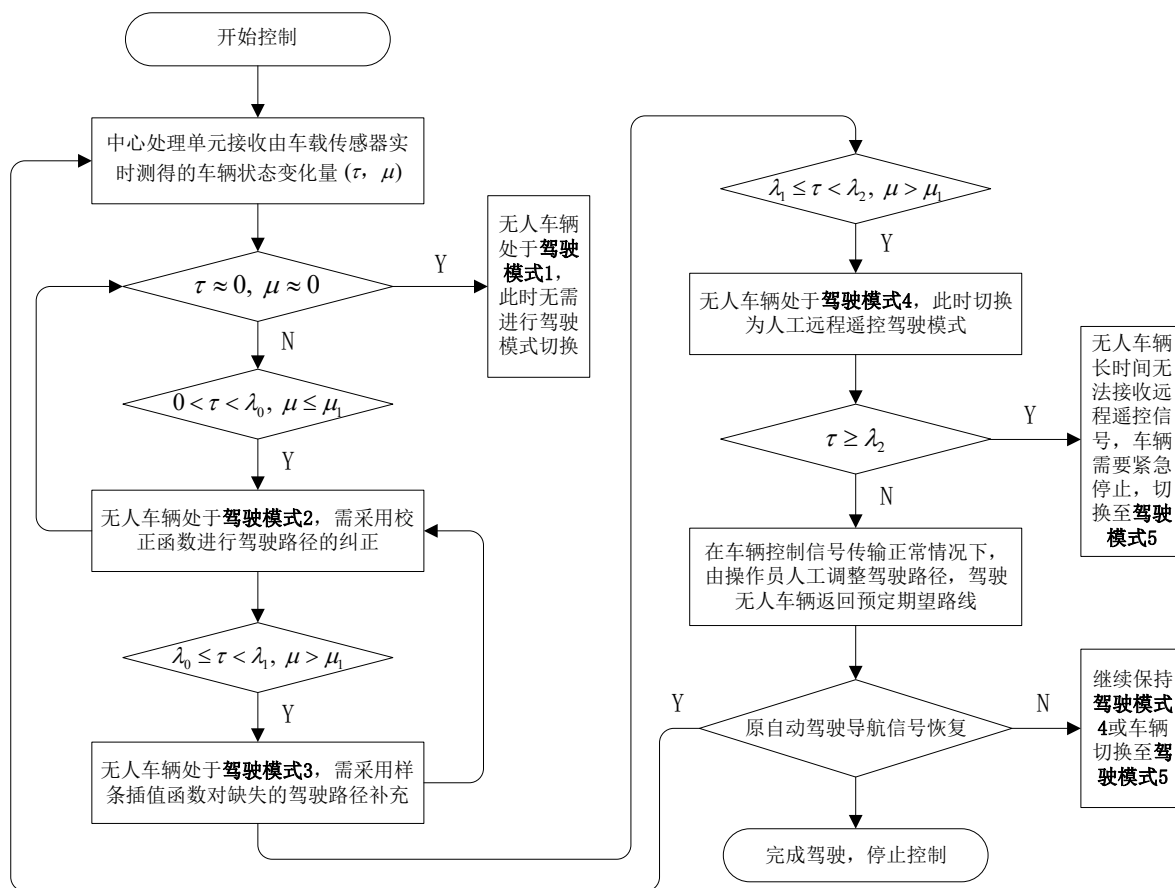


图 3

摘要附图

