



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107544496 A

(43)申请公布日 2018.01.05

(21)申请号 201710743462.6

(22)申请日 2017.08.25

(71)申请人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路
301号

(72)发明人 王海 徐康俊 蔡英凤 孙晓强
袁朝春 陈龙

(51)Int.Cl.

G05D 1/02(2006.01)

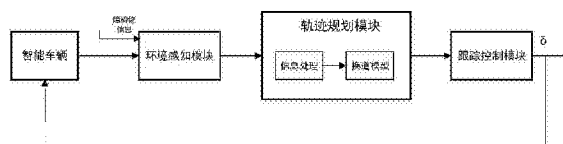
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法

(57)摘要

本发明公开了一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,包括步骤:车辆建模,得到车辆二自由度运动微分方程;环境感知模块,用以获取障碍物信息与车辆自身运行状态;轨迹规划模块,包括信息处理和换道模型的建立,用以将环境感知模块所获取的信息处理获得有用数据以提供给换道模型,再通过换道模型规划出一条换道轨迹;跟踪控制模块,跟踪既得轨迹,输出前轮偏转角 δ ;上一步骤中跟踪控制模块输出的前轮转角 δ ,再返回到步骤一中作为车辆二自由度模型的输入,由此形成一个闭环反馈系统。本发明所述的一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,能够使规划过程简单、快速,而且可以使智能车换道具有良好的平稳性和舒适性。



1. 一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一) 车辆建模;以前轮转角 δ 作为输入,输出为纵向车速 v 及横摆角速度 ω_r ;

可以得到车辆二自由度运动微分方程:

$$(k_1+k_2)\beta + \frac{1}{u}(ak_1-bk_2)\omega_r - k_1\delta = m\left(v+u\omega_r\right)$$

$$(ak_1-bk_2)\beta + \frac{1}{u}(a^2k_1+b^2k_2)\omega_r - ak_1\delta = I_z \dot{\omega}_r$$

其中, u -纵向车速, ω_r -横摆角速度, m -车辆质量, β -车辆质心侧偏角, I_z -车辆转动惯量, δ -前轮转角, v -横向车速, a -车辆质心到前轮距离; b -车辆质心到后轮距离, k_1 -前轮胎的侧偏刚度; k_2 -后轮胎的侧偏刚度;

步骤二) 环境感知模块;用以获取障碍物信息与车辆自身运行状态,并将信息传送给轨迹规划模块和跟踪控制模块;

步骤三) 轨迹规划模块;将步骤二)中环境感知模块传递过来的信息进行处理,提取有用信息,主要是 L (换道过程中的纵向位移)和 h (所在车道和目标车道的距离);建立换道模型并评价其优劣性,然后将处理所得的有用信息代入换道模型,从而得到一条换道轨迹;

步骤四) 跟踪控制模块;接收步骤二)传来的障碍物信息与车辆自身运行状态,调整油门和前轮偏转角,实现对既得轨迹的精准跟随;

步骤五) 步骤四)中跟踪控制模块的输出主要为前轮转角 δ ,再返回到步骤一)中作为车辆二自由度模型的输入,由此形成一个闭环反馈系统,从而达到轨迹规划的实时性与准确性。

2. 根据权利要求1所述的一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,其特征在于,所述步骤二)中,环境感知模块包括融合相机、1线激光雷达、4线激光雷达、ESR毫米波雷达、64线激光雷达、GPS组合导航系统,融合相机分布在车辆前后挡风玻璃上负责采集车道线、交通灯、标志牌等信息;1线激光雷达分布在车头处,用于采集正前方障碍物信息;4线激光雷达安装在车身周围,用于近距离障碍物检测,减少视觉死角的出现;毫米波雷达安装在车辆前保险杠中间位置,用于采集障碍物与本车辆的相对距离和速度信息;64线激光雷达安装在车辆顶部中间位置,检测范围较大,用于车辆周围中远距离障碍物检测;GPS导航系统用于获得车辆实时位置信息。

3. 根据权利要求1所述的一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,其特征在于,所述步骤三)中,轨迹规划模块包括1) 信息处理:分析环境感知模块所提供的信息,提取有用数据;主要是根据障碍物信息与道路信息得到2个数据 L (换道过程中的纵向位移)和 h (所在车道和目标车道的距离),从而将此数据代入换道模型函数中以规划出轨迹;

2) 建立换道模型:本发明在余弦换道模型的基础上加以改进,创造了一种新的换道模型,可以称之为改进余弦换道模型,其换道模型轨迹函数为:

$$y(x) = \frac{h}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \cos \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) + \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) \right] \quad x \in [0, L]$$

其中, L 表示换道过程中的纵向位移, h 表示所在车道和目标车道的距离;此函数轨迹为一条曲率连续的曲线;

分别对此函数求一阶导和二阶导,得

$$\dot{y} = h \left[\frac{1}{L} \sin \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) + \frac{1}{L} \right] \quad x \in [0, L]$$

$$\ddot{y} = h \frac{2\pi}{L^2} \left[\cos \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) \right] \quad x \in [0, L]$$

$$\text{曲率公式为: } K = \frac{|\ddot{y}|}{(1 + \dot{y}^2)^{\frac{3}{2}}}$$

当 $x=0$ 或 $x=L$,即在换道轨迹的起点和终点处函数的曲率值为零才能保证车辆在换道起始时刻与其换道结束时刻的运动方向能与车道线保持平行,以保证车辆平稳换道,避免侧倾现象。

4. 根据权利要求1所述的一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,其特征在于,所述步骤四)中跟踪控制模块包括1)纵向控制协调油门与制动从而控制车速,使车辆在到达换道起始点前平稳运行;2)横向控制实现对期望轨迹的精准跟踪,输出为车辆前轮转角 δ 。

一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法

技术领域

[0001] 本发明涉及智能车的轨迹规划领域,特别涉及一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法。

背景技术

[0002] 随着全球汽车的普及,交通安全问题也日益突出,交通事故的原因绝大部分与驾驶员人为操作失误有关,因此智能车辆得到越来越多的关注,也是世界车辆工程领域研究的热点。随着对智能车辆技术研究的逐渐深入,车辆换道模型被广泛的研究和关注,车辆换道模型决定了车辆在换道过程中能否平稳、舒适、安全地运行。

[0003] 文献(杨建国,王金梅,李庆丰,等.微观仿真中车辆换道的行为分析和建模[C]//国际交通新技术应用大会.2004.)提出换道路径要满足两个约束条件:1.轨迹路径曲率连续;2.在换道路径的起点和终点处曲率均为零。现有的比较成熟的换道模型如圆弧换道模型,在某点处曲率会发生突变;又如余弦换道模型,在起点和终点处的曲率为整段轨迹曲率的最大值。又如文献(李玮,高德芝,段建民.智能车辆自由换道模型研究[J].公路交通科技,2010,

[0004] 27(2):119-123.)提出的一种正弦函数与双曲正切函数加权相加的换道模型,在轨迹起点和终点处曲率值很小,但仍不满足为零。以上换道模型都存在不足,过于理想化,脱离实际,并且规划出的轨迹无法满足平稳性和舒适性的要求。

发明内容

[0005] 本发明的目的:针对现有技术的不足,本发明提供一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,在余弦换道模型的基础上加以改进,建立满足新的换道模型,其一方面满足上述提到的两个约束条件:轨迹路径曲率连续且在起点和终点处曲率为零,与实际情况下车辆换道相吻合,可以实现对所规划轨迹的精准跟随;另一方面本发明提出的换道模型所规划出的轨迹平稳,最大侧向加速度、曲率波动在一定范围内,极大的增加了的车辆在换道过程中平稳性与舒适性。

[0006] 本发明的技术方案:一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,包括以下步骤:

[0007] 步骤一) 车辆建模;以前轮转角 δ 作为输入,输出为纵向车速 v 及横摆角速度 ω_r ;

[0008] 可以得到车辆二自由度运动微分方程:

$$[0009] \quad (k_1 + k_2)\beta + \frac{1}{u}(ak_1 - bk_2)\omega_r - k_1\delta = m\left(v + u\omega_r\right)$$

$$[0010] \quad (ak_1 - bk_2)\beta + \frac{1}{u}(a^2k_1 + b^2k_2)\omega_r - ak_1\delta = I_z \dot{\omega}_r$$

[0011] 其中, u -纵向车速, ω_r -横摆角速度, m -车辆质量, β -车辆质心侧偏角, I_z -车辆转动惯量, δ -前轮转角, v -横向车速, a -车辆质心到前轮距离 b -车辆质心到后轮距离, k_1 -前轮胎的侧偏刚度; k_2 -后轮胎的侧偏刚度;

[0012] 步骤二) 环境感知模块;用以获取障碍物信息与车辆自身运行状态,并将信息传送给轨迹规划模块和跟踪控制模块;

[0013] 步骤三) 轨迹规划模块;将步骤二) 环境感知模块传递过来的信息进行处理,提取有用信息,主要是L(换道过程中的纵向位移)和h(所在车道和目标车道的距离);建立换道模型并评价其优劣性,然后将处理所得的有用信息代入换道模型,从而得到一条换道轨迹;

[0014] 步骤四) 跟踪控制模块;接收步骤二) 环境感知模块传来的障碍物信息与车辆自身运行状态,调整油门和前轮偏转角,实现对既得轨迹的精准跟随;

[0015] 步骤五) 步骤四) 中跟踪控制模块的输出主要为前轮转角 δ ,再返回到步骤一) 车辆建模中作为车辆二自由度模型的输入,由此形成一个闭环反馈系统,从而达到轨迹规划的实时性与准确性。

[0016] 进一步,所述步骤二) 中的环境感知模块,包括融合相机、1线激光雷达、4线激光雷达、ESR毫米波雷达、64线激光雷达、GPS组合导航系统,融合相机分布在车辆前后挡风玻璃上负责采集车道线、交通灯、标志牌等信息;1线激光雷达分布在车头处,用于采集正前方障碍物信息;4线激光雷达安装在车身周围,用于近距离障碍物检测,减少视觉死角的出现;毫米波雷达安装在车辆前保险杠中间位置,用于采集障碍物与本车辆的相对距离和速度信息;64线激光雷达安装在车辆顶部中间位置,检测范围较大,用于车辆周围中远距离障碍物检测;GPS导航系统用于获得车辆实时位置信息;

[0017] 进一步,所述步骤三) 中的轨迹规划模块包括:

[0018] 1) 信息处理;分析环境感知模块所提供的信息,提取有用数据;主要是根据障碍物信息与道路信息得到2个数据L(换道过程中的纵向位移)和h(所在车道和目标车道的距离),从而将此数据代入换道模型函数中以规划出轨迹;

[0019] 2) 建立换道模型;本发明在余弦换道模型的基础上加以改进,创造了一种新的换道模型,可以称之为改进余弦换道模型,其换道模型轨迹函数为:

$$[0020] \quad y(x) = \frac{h}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \cos \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) + \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) \right] \quad x \in [0, L]$$

[0021] 其中,L表示换道过程中的纵向位移,h表示所在车道和目标车道的距离;此函数轨迹为一条曲率连续的曲线;

[0022] 分别对此函数求一阶导和二阶导,得

$$[0023] \quad \dot{y} = h \left[\frac{1}{L} \sin \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) + \frac{1}{L} \right] \quad x \in [0, L]$$

$$[0024] \quad \ddot{y} = h \frac{2\pi}{L^2} \left[\cos \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) \right] \quad x \in [0, L]$$

$$[0025] \quad \text{曲率公式为: } K = \frac{|\ddot{y}|}{(1 + \dot{y}^2)^{3/2}}$$

[0026] 显然,当 $x=0$ 或 $x=L$,即在换道轨迹的起点和终点处函数的曲率值为零,如此,才能保证车辆在换道起始时刻与其换道结束时刻的运动方向能与车道线保持平行,以保证车辆平稳换道,避免侧倾现象;

[0027] 综上所述,本发明提出的换道模型满足换道路径的两个约束条件:轨迹路径曲率连续且在换道路径的起点和终点处曲率均为零。

[0028] 3) 验证本发明所提出换道模型的优劣性;以换道轨迹的最大侧向加速度 a_{\max} 来评价车辆换道的舒适性,以曲率 K 来评价车辆换道的平稳性。显然最大侧向加速度越小,舒适性越好;曲率波动越小,平稳性越好。针对这两项评价指标,将本发明提出的换道模型与正弦函数与双曲正切函数加权相加的换道模型在MATLAB环境中进行仿真对比,从而验证本发明提出换道模型的优越性。

[0029] 4) 应用换道模型规划出换道轨迹;将上述处理获得的 L 和 h 两个数据代入换道模型轨迹函数中,求得换道轨迹。

[0030] 进一步,所述步骤四跟踪控制模块包括:

[0031] 1) 纵向控制协调油门与制动从而控制车速,使车辆在到达换道起始点前平稳运行。

[0032] 2) 横向控制实现对期望轨迹的精准跟踪,输出为车辆前轮转角 δ 。

[0033] 本发明的有益效果在于:

[0034] 1. 本发明所述的一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,由于采用特定的换道模型,使得轨迹规划计算过程简单、快速,所耗费的存储空间小,规划的实时性强。

[0035] 2. 本发明所述的一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,由于本发明所提出的换道模型,经过验证,具有良好的性能,能满足车辆换道时平稳性和舒适性要求。这极大地增加了此换道模型的实用性。

附图说明

[0036] 图1为本发明的系统框图;

[0037] 图2为本发明环境感知模块具体结构图;

[0038] 图3为本发明提出的换道模型轨迹仿真图;

[0039] 图4为本发明换道模型与一种传统换道模型的性能对比图。

具体实施方式

[0040] 下面结合附图以及具体实施例对本发明作进一步的说明。

[0041] 结合附图1所示,一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,包括智能车体、环境感知模块、轨迹规划模块和跟踪控制模块;

[0042] 上述的智能车体,我们将其简化为线性二自由度汽车模型,以前轮转角 δ 作为输入,输出纵向车速 u 及横摆角速度 w_r ,车辆二自由度动力学模型能较好的体现车辆运动情况,同时也便于研究和仿真实验。

[0043] 上述的环境感知模块包括:融合相机、1线激光雷达、4线激光雷达、ESR毫米波雷达、64线激光雷达、GPS组合导航系统。如图2,融合相机分布在车辆前后挡风玻璃上负责采集车道线、交通灯、标志牌等信息;1线激光雷达分布在车头处,用于采集正前方障碍物信息;4线激光雷达安装在车身周围,用于近距离障碍物检测,减少视觉死角的出现;毫米波雷达安装在车辆前保险杠中间位置,用于采集障碍物与本车辆的相对距离和速度信息;64线激光雷达安装在车辆顶部中间位置,检测范围较大,用于车辆周围中远距离障碍物检测;

GPS导航系统用于获得车辆实时位置信息；

[0044] 上述的轨迹规划模块包括信息处理和换道模型的建立两部分。

[0045] 首先将环境感知模块传递过来的信息进行分析处理,筛选有用信息,主要是获取两项数据:换道过程中的纵向位移L(即换道起点与终点的距离)和所在车道和目标车道的距离h。

[0046] 接着,在余弦换道模型的基础上改良,创造出一种新的换道模型,不仅能够满足约束条件:换道轨迹曲率连续且换道轨迹在起点和终点处曲率为零,而且本发明提出的换道模型相比传统的换道模型具有更优良的性能。能满足车辆在换道过程中的平稳性和舒适性的要求。

[0047] 最后,将信息处理所得的两项数据代入本发明提出的换道模型中以规划出一条换道轨迹。

[0048] 上述的跟踪控制模块包括:纵向控制和横向控制。纵向控制协调油门与制动从而控制车速,使车辆在到达换道起始点前平稳运行。横向控制实现对上一步中所规划出轨迹的精准跟踪,输出为车辆前轮转角 δ 。

[0049] 本发明的具体过程为:

[0050] 第一步,建立车辆模型,以前轮转角 δ 作为输入,输出纵向车速u及横摆角速度。车辆二自由度动力学模型能较好的体现车辆运动情况,并且做出合理的简化,方便我们研究和仿真。在此,我们假设:

[0051] 1.忽略转向系统的影响,直接以前轮转角 δ 作为输入;

[0052] 2.忽略悬架的作用;

[0053] 3.汽车沿x轴的前进速度u视为不变;

[0054] 4.汽车侧向加速度 $<0.4g$;

[0055] 5.轮胎侧偏特性处于线性范围。

[0056] 可以得到车辆二自由度运动微分方程:

$$[0057] \quad (k_1 + k_2)\beta + \frac{1}{u}(ak_1 - bk_2)\dot{\omega}_r - k_1\delta = m(\dot{v} + u\dot{\omega}_r)$$

$$[0058] \quad (ak_1 - bk_2)\beta + \frac{1}{u}(a^2k_1 + b^2k_2)\dot{\omega}_r - ak_1\delta = I_z \dot{\omega}_r$$

[0059] 其中,u-纵向车速, ω_r -横摆角速度,m-车辆质量, β -车辆质心侧偏角, I_z -车辆转动惯量, δ -前轮转角,v-横向车速,a-车辆质心到前轮距离b-车辆质心到后轮距离, k_1 -前轮胎的侧偏刚度; k_2 -后轮胎的侧偏刚度;

[0060] 第二步,环境感知模块获取障碍物信息与车辆自身运行状态,并将信息传送给轨迹规划模块和跟踪控制模块。

[0061] 第三步,轨迹规划模块,规划出一条合理的换道轨迹。具体包括:

[0062] 1) 信息处理;分析环境感知模块所提供的信息,提取有用数据。主要是根据障碍物信息与道路信息得到2个数据L(换道过程中的纵向位移)和h(所在车道和目标车道的距离),从而将此数据代入换道模型函数中以规划出轨迹。

[0063] 2) 建立换道模型;本发明在余弦换道模型的基础上加以改进,创造出了一种新的换道模型,可以称之为改进余弦换道模型,其换道模型轨迹函数为:

$$[0064] \quad y(x) = \frac{h}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \cos \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) + \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) \right] \quad x \in [0, L]$$

[0065] 其中L表示换道过程中的纵向位移, h表示所在车道和目标车道的距离。根据高速公路行业标准, 取 $h = 3.75\text{m}$ 。此处将换道纵向位移L设为 100m 。(下文的仿真也用同样的数值) 如需运用此换道模型, 可根据实际道路情况调整h和L的数值, 同样适用。此函数轨迹的仿真图像如图3所示, 显然, 是一条曲率连续的曲线。

[0066] 分别对此换道轨迹函数求一阶导和二阶导, 得

$$[0067] \quad \dot{y} = h \left[\frac{1}{L} \sin \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) + \frac{1}{L} \right] \quad x \in [0, L]$$

$$[0068] \quad \ddot{y} = h \frac{2\pi}{L^2} \left[\cos \frac{\pi}{L} \left(2x - \frac{L}{2} \right) \right] \quad x \in [0, L]$$

$$[0069] \quad \text{曲率公式为: } K = \frac{|\ddot{y}|}{(1 + \dot{y}^2)^{\frac{3}{2}}}$$

[0070] 显然, 当 $x = 0$ 或 $x = L$, 即在换道轨迹的起点和终点处函数的曲率值为零, 如此, 才能保证车辆在换道起始时刻与其换道结束时刻的运动方向能与车道线保持平行, 以保证车辆平稳换道, 避免侧倾现象。

[0071] 综上所述, 本发明提出的换道模型满足换道路径的两个约束条件: 轨迹路径曲率连续且在换道路径的起点和终点处曲率均为零。

[0072] 3) 验证本发明所提出换道模型的优劣性; 以换道轨迹的最大侧向加速度 a_{\max} 来评价车辆换道的舒适性, 以曲率K来评价车辆换道的平稳性。最大侧向加速度越小, 舒适性越好; 曲率波动越小, 平稳性越好。针对这两项评价指标, 将本发明提出的换道模型与正弦函数与双曲正切函数加权相加的换道模型在MATLAB环境中进行仿真对比。

[0073] 正弦函数与双曲正切函数加权相加的换道轨迹函数为:

$$[0074] \quad y(x) = \frac{h}{2} \left\{ 1 - (1 - \Delta\alpha) \cos \left(\frac{x}{L} \pi \right) + \Delta\alpha \tanh \left[\frac{\Delta\sigma}{L} \left(x - \frac{L}{2} \right) \right] \right\} \quad x \in [0, L]$$

[0075] 其中, $\Delta\sigma$ 表示纵向拉伸系数; $\Delta\alpha$ 表示加权系数。本实验中取 $\Delta\sigma = 7.5$, $\Delta\alpha = 0.5$ 。

[0076] 图4(a)为两种换道模型的侧向加速度对比图, 可以看出本发明提出的换道模型最大侧向加速度更小, 并且加速度的变化范围也更加平滑。

[0077] 图4(b)为两种换道模型的曲率对比图, 由图可知本发明提出的换道模型曲率极值较小, 曲率的波动范围也更小。

[0078] 从图4可以看出, 一种改进余弦换道模型的轨迹规划, 应用此换道模型所规划出的轨迹具有更好的舒适性和平稳性, 从而验证本发明提出换道模型的优越性。

[0079] 4) 应用换道模型规划出换道轨迹; 将上述处理获得的L和h两个数据代入换道模型轨迹函数中, 求得换道轨迹。

[0080] 第四步, 跟踪控制模块, 接收到车辆二自由度动力学模型输出的车速, 纵向控制协调油门与制动从而控制车速, 使车辆在到达换道起始点前平稳运行。横向控制实现对上一步中所规划出轨迹的精准跟踪, 输出为车辆前轮转角 δ 。

[0081] 第五步,上一步骤中跟踪控制模块输出的前轮转角 δ ,再返回到步骤一中作为车辆二自由度模型的输入。由此形成一个闭环反馈系统,从而达到在轨迹跟踪过程中逐渐消除误差,提高跟踪的精度。

[0082] 综上所述,本发明一种改进余弦换道模型的轨迹规划方法,规划速度快,规划过程简单。规划出的换道轨迹能使车辆在换道过程中具有良好的舒适性与平稳性。

[0083] 所述实施例为本发明的优选的实施方式,但本发明并不限于上述实施方式,在不背离本发明的实质内容的前提下,本领域技术人员能够做出的任何显而易见的改进、替换或变型均属于本发明的保护范围。

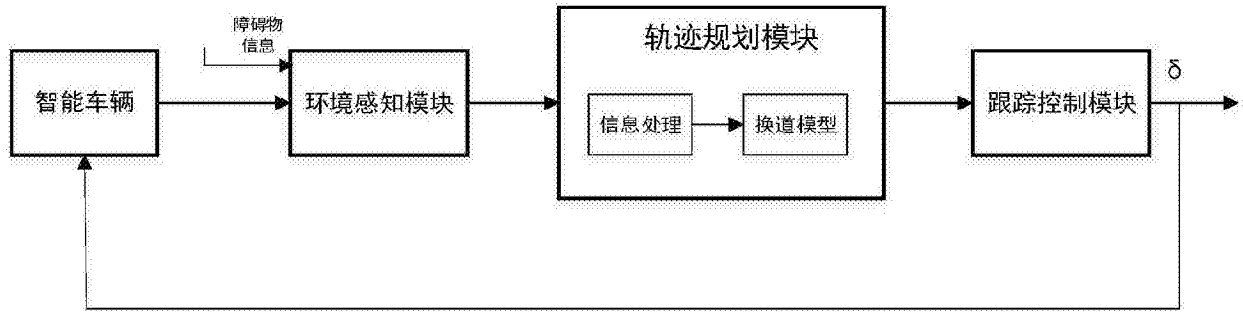


图1

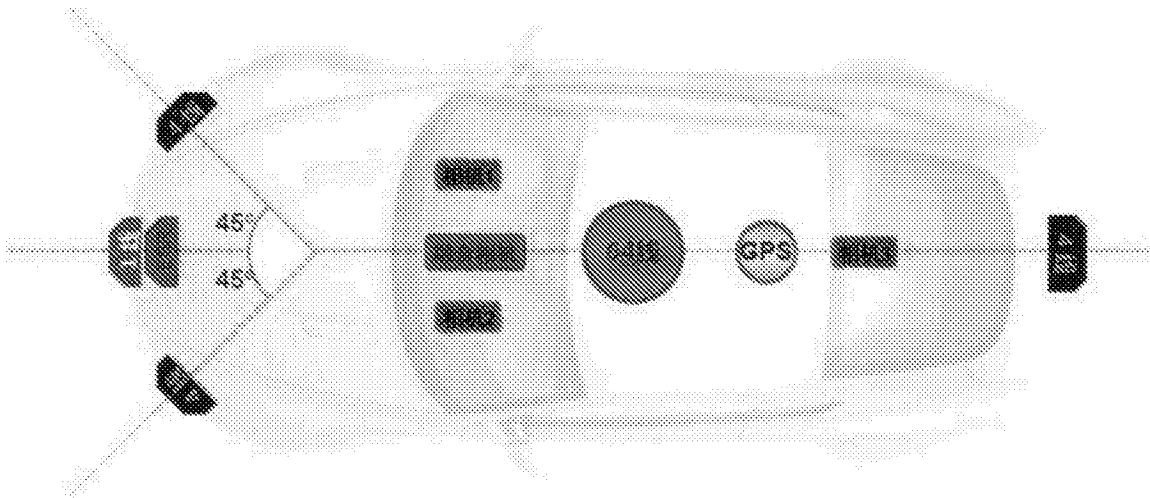


图2

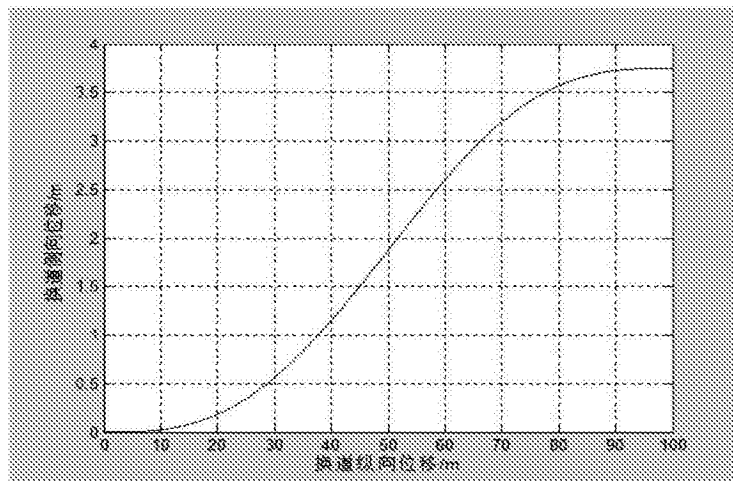
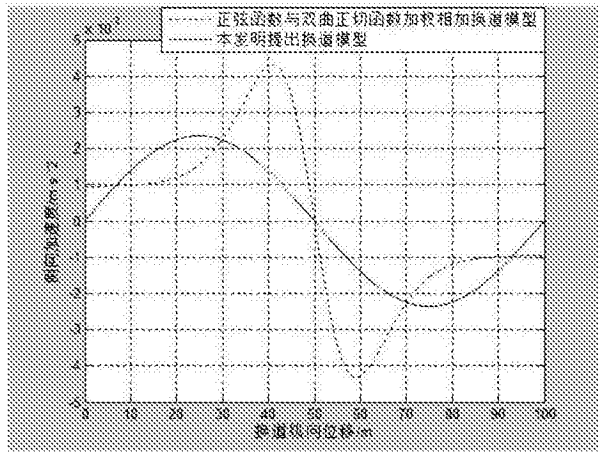
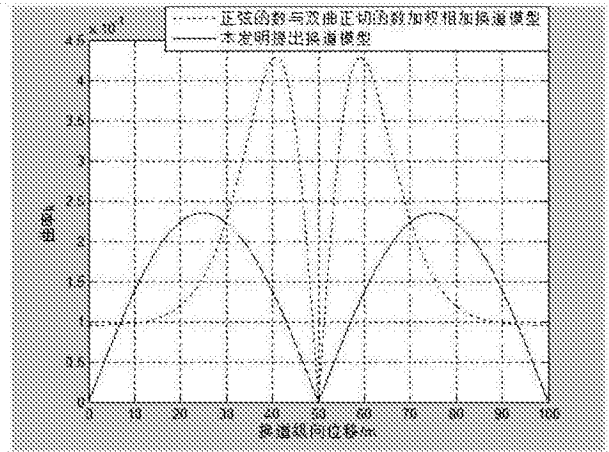


图3



a



b

图4