

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局



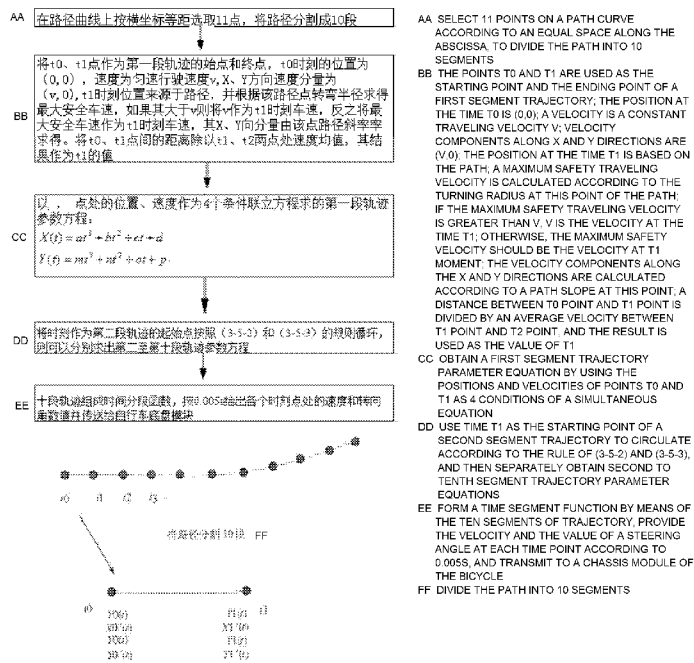
(10) 国际公布号
WO 2018/176593 A1

(43) 国际公布日
2018年10月4日 (04.10.2018)

- (51) 国际专利分类号:
G05D 1/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/084507
- (22) 国际申请日: 2017年5月16日 (16.05.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710210982.0 2017年3月31日 (31.03.2017) CN
- (71) 申请人: 深圳市靖洲科技有限公司 (SHENZHEN JING ZHOU TECHNOLOGY CO., LTD) [CN/CN]; 中国广东省深圳市福田区车公庙NEO大厦A座30楼常精, Guangdong 518031 (CN)。
- (72) 发明人: 吴建国 (WU, Jianguo); 中国广东省深圳市福田区车公庙NEO大厦A座30楼常精, Guangdong 518031 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(54) Title: LOCAL OBSTACLE AVOIDANCE PATH PLANNING METHOD FOR UNMANNED BICYCLE

(54) 发明名称: 一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法



(57) Abstract: A local obstacle avoidance path planning method for an unmanned bicycle, capable of making a bicycle travel in strict accordance with a planned path, automatically adjusting the velocity according to a path curvature, and when encountering a moving or fixed obstacle, carrying out obstacle avoidance path planning in advance. The method comprises the following steps: (1) unifying environment data obtained by an environment sensing system to a same coordinate system and generating an environment map, there being two types of environment maps, i.e., an obstacle map and a bicycle lane line map; (2) according to the principle that the bicycle

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

may autonomously travel along a bicycle lane line under a general condition, establishing an equivalent bounding box by using a fitting lane center line as a traveling path, determining the geometrical center of an obstacle, and determining an obstacle avoidance process path; and (3) executing an obstacle avoidance step by the unmanned bicycle according to a condition formula of a collision between the unmanned bicycle and the obstacle, as well as the selected path.

(57) 摘要: 一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法, 可使得自行车严格按照规划路径行驶, 并且车速自动根据路径曲率调整, 遇到移动或者固定障碍物的情况下, 可以提前进行避障路径规划, 包括如下步骤: (1) 利用环境感知系统所得环境数据统一到同一坐标系下, 并生成环境地图, 环境地图包含障碍物地图和自行车道线地图两种类型; (2) 根据一般工况下自行车自动驾驶跟随自行车道线行驶的原则, 采用拟合车道中心线作为行驶路径, 建立当量包围盒, 确定障碍物几何中心, 确定避障过程路径; (3) 根据无人自行车与障碍物发生碰撞的条件公式以及选取的路径, 无人自行车执行避障步骤。

一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法

技术领域

本发明涉及无人自行车技术，特别是一种面向无人自行车避障路径规划方法。

背景技术

自 20 世纪 60 年代移动机器人诞生以来，研究人员一直梦想研究无人智能交通工具，作为智能交通系统的重要组成部分，无人自行车排除了人为不确定因素的影响，不仅可以提高驾驶安全性，而且可以解决交通拥堵，提高能源利用率，百度曾宣布开发复杂人工智能无人自行车，该产品是具备环境感知、规划和自平衡控制等复杂人工智能的无人自行车，主要集合了百度在人工智能、深度学习、大数据和云计算技术的成就，然而对技术细节没有任何披露。目前大多采用采用覆盖面广、成本低，且针对性强的运动干预服务系统，对无人自行车的运动进行符合实际情况的干预，有望解决自行车避障等问题。

作为无人自行车的智能核心，避障路径规划系统决定车辆如何在多种约束条件和路径障碍物条件下到达目标位置，这些约束包括体现为安全性的环境约束，体现可行性的系统运动学约束，体现平顺性和稳定性的系统动力学约束以及特定的优化指标约束，如最短时间或最短距离等。在无人自行车应用中，这些约束集中在全局路径规划中得到满足，全局路径规划问题等同于起点和终点间路径生成的问题，解决全局路径规划问题一般要求提前获知完成的典型道路

及其数字化存储方式，也就是环境地图，当环境变化或其他因素导致规划结果不可行时，需要重启全局规划得到新的可行路径才能继续行使。

然而目前无人自行车的工作环境与一般机器人应用存在很多不同，因此需要规划一种新的局部避障路径规划方法。局部路径规划及轨迹生成的主要任务是确保自行车安全、平顺的形式，其首先从感知系统获取道路信息，经过处理后实时生成安全、平顺的行车轨迹，并以车速和转向角的数据形式传输给控制系统，从而使自行车实现车道跟随和避障功能。

所谓避障路径规划是指在给定的障碍条件以及起始和目标的位置，选择一条从起始点到达目标点的路径，使运动物体能安全、无碰撞的通过所有的障碍。

发明内容

本发明的目的在于提供一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，包括如下步骤：

(1) 利用环境感知系统所得环境数据将统一到同一坐标系下，并生成环境地图，环境地图包含障碍物地图和自行车道线地图两种类型；

(2) 根据一般工况下自行车自动驾驶跟随自行车道线行驶的原则，采用拟合车道中心线作为行驶路径，建立当量包围盒，确定障碍物几何中心，确定避障过程路径；

(3) 根据无人自行车与障碍物发生碰撞的条件公式以及选取的路径，无人自行车执行避障步骤。

优选的，所述步骤(1)中的所述障碍物地图以极坐标形式给出，坐标原点为无人自行车后轴中心点，包括720个数据，即0.5度一个数据，用来表示该方向上的最近物体离自行车中心的直线距离，如果没有障碍物，其数值设为最大距离值。

优选的，所述步骤（1）中的所述自行车道线地图由一组车道线数据组成，用车道线位置数据和线型数据两部分表示，位置数据为车道线上所提取 10 个采样点的直角坐标，线型包含：路边线、双黄线、单实线、单虚线、停车线、斑马线、禁停线等。

优选的，所述步骤（2）中设圆心坐标为 $O(x_0, y_0, z_0)$ ，无人自行车末端执行器参考点坐标为 $P(p_x, p_y, p_z)$ ，当式（1）成立时，无人自行车与障碍物发生碰撞。

$$\sqrt{(p_x - x_0)^2 + (p_y - y_0)^2 + (p_z - z_0)^2} \leq r \quad (1)$$

优选的，所述步骤（2）中设障碍物圆心为 o ，半径为 r ，无人自行车末端执行器运动起始点为 A ，目标点为 B ，避障规划过程中，根据运动路径最短和末端执行器可达空间最大化原则选择多种曲线路径，其中末端点由末端执行器和障碍物的空间尺寸及避碰安全系数决定。

优选的，所述步骤（3）按照如下流程进行：（3-1）确定无人自行车工作空间，求解障碍物中心与末端执行器空间坐标；（3-2）将空间圆弧 ADB 离散化若干控制点，确定避障路径的起点与终点；（3-3）运用运动学逆解求得起点、终点与离散控制点对应无人自行车各部分运动变量；（3-4）对步骤（3）中所得关节变量进行三次样条插值，得到各运动变量的运动函数；（3-5）生成初级自行车路径；（3-6）取运动函数极值对应点，进行运动学正解，利用式（1）判断是否与障碍物相碰，检验三次样条插值精度和离散点数目是否符合要求；（3-7）利用符合要求的关节运动函数驱动人的腿部关节，实现无人自行车避障。

优选的，所述步骤（3-4）中三次样条插值点的选取原则为：第一点：本自行车后轴中心，第二点：道路中心线第一采样点与右侧路边线第一采样点的中点，第三点：道路中心线第五采样点与右侧路边线第五采样点的中点，第四点：道路中心线第十采样点与右侧路边线第十采样点的中点，当前方遇到障碍物时产生特殊关键点，通过平移处理以取代上述四点中的部分关键点。

优选的，所述步骤（3）中根据关键点坐标插值生成三次样条曲线即为行车

路径，插值过程中使用第一边界条件，即始点和终点的斜率为给定值，始点的斜率取 $k_0 = 0$ ，终点的斜率根据如下公式 (2) 进行计算： $k_1 = \frac{y_{10} - y_9}{x_{10} - x_9}$ ，式中， k_1 为终点处导数； x_9 为车道中心线第 9 点横坐标； x_{10} 为车道中心线第 10 点横坐标； y_9 为车道中心线第 9 点纵坐标； y_{10} 为车道中心线第 10 点纵坐标。

优选的，所述步骤 (3-5) 生成初级行车路径中，在特殊工况下采用简单高效的圆弧曲线作为行车路径，在普通工况下，根据曲率公式 (3) 和转向角公式 (4) 生成轨迹。

优选的，所述步骤 (3-5) 的曲率公式 (3) 为： $K = \frac{|y''|}{(1+y'^2)^{\frac{3}{2}}}$ ，式中， K 表

示曲线 $y(x)$ 的斜率，根据转向运动学关系 $\tan \alpha = BK$ 获得转向角的计算公式，即 $\alpha = \arctan(BK)$ ，式中 B 表示汽车轴距， α 表示转向角。

所述普通工况下生成轨迹的步骤具体为：(3-5-1) 在路径曲线上按横坐标等距选取 11 点，将路径分割成 10 段；(3-5-2) 将 t_0 ， t_1 点作为第一段轨迹的起始点和终点， t_0 时刻的位置为 (0, 0)，速度为匀速行驶时速度 v ，X, Y 方向速度分量为 (v , 0)， t_1 时刻位置来源于路径，并根据该路径点转弯半径求得最大安全车速，如果其大于 v ，则将 v 作为 t_1 时刻车速，反之将最大安全车速作为 t_1 时刻车速，其 X, Y 向分量由该点路径斜率求得，将 t_0 ， t_1 点间的距离除以 t_1 ， t_2 两点处速度均值，其结果作为 t_1 的值；(3-5-3) 以 t_0 ， t_1 点处的位置、速度作为 4 个条件联立方程求的第一段轨迹参数方程： $X(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$ ， $Y(t) = mt^3 + nt^2 + ot + p$ ；(3-5-4) 将 t_1 时刻作为第二段轨迹的起始点按照 (3-5-2) 和 (3-5-3) 的规则循环，则可以分别求出第二至第十段轨迹参数方程；(3-5-5) 十段轨迹组成时间分段函数，按 0.005s 给出各个时刻点处的速度和转向角数值并传送给自行车底盘模块。

局部路径以 20Hz 速率进行实时更新，以满足轨迹实时生成的需要。

采用本发明的避障局部路径规划方法，可使得自行车严格按照规划路径行驶，并且车速自动根据路径曲率调整，遇到移动或者固定障碍物的情况下，可以提前进行避障路径规划。

根据下文结合附图对本发明具体实施例的详细描述，本领域技术人员将会更加明了本发明的上述以及其他目的、优点和特征。

附图说明

后文将参照附图以示例性而非限制性的方式详细描述本发明的一些具体实施例。附图中相同的附图标记标示了相同或类似的部件或部分。本领域技术人员应该理解，这些附图未必是按比例绘制的。本发明的目标及特征考虑到如下结合附图的描述将更加明显，附图中：

图 1 为根据本发明实施例的插值点选择示意图；

图 2 为根据本发明实施例的障碍物包围盒以及避障路径示意图；

图 3 为根据本发明实施例的特殊工况局部路径规划示意图；

图 4 为根据本发明实施例的普通工框路径生成步骤流程图。

具体实施方式

结合附图如下详细说明该面向无人自行车的局部避障路径规划方法，包括如下步骤：

(1) 利用环境感知系统所得环境数据将统一到同一坐标系下，并生成环境地图，环境地图包含障碍物地图和自行车道线地图两种类型。

其中，障碍物地图以极坐标形式给出，坐标原点为无人自行车后轴中心点，包括 720 个数据，即 0.5 度一个数据，用来表示该方向上的最近物体离自行车中心的直线距离，如果没有障碍物，其数值设为最大距离值，自行车道线地图由一组车道线数据组成，用车道线位置数据和线型数据两部分表示，位置数据为

车道线上所提取 10 个采样点的直角坐标, 线型包含: 路边线、双黄线、单实线、单虚线、停车线、斑马线、禁停线等。

(2) 根据一般工况下自行车自动驾驶跟随自行车道线行驶的原则, 采用拟合车道中心线作为行驶路径, 建立当量包围盒, 确定障碍物几何中心, 设圆心坐标为 $O(x_0, y_0, z_0)$, 无人自行车末端执行器参考点坐标为 $P(p_x, p_y, p_z)$, 当式 (1) 成立时, 无人自行车与障碍物发生碰撞。

$$\sqrt{(p_x - x_0)^2 + (p_y - y_0)^2 + (p_z - z_0)^2} \leq r \quad (1)$$

设障碍物圆心为 o , 半径为 r , 无人自行车末端执行器运动起始点为 A , 目标点为 B 。避障规划过程中, 路径有多种选择: 空间曲线 $ACDEB$ 、空间曲线 $AC'D'E'B$ 和空间曲线 $AC''D''E''B$ 等, 如图 2 所示, 根据运动路径最短和末端执行器可达空间最大化原则, 选取空间圆弧 ADB 作为避障过程路径, 其中 D 点由末端执行器和障碍物的空间尺寸及避碰安全系数决定;

(3) 根据式 (1) 以及选取的路径 ADB , 无人自行车执行如下避障步骤:

(3-1) 确定无人自行车工作空间, 求解障碍物中心与末端执行器空间坐标;

(3-2) 将空间圆弧 ADB 离散化若干控制点, 确定避障路径的起点与终点;

(3-3) 运用运动学逆解求得起点、终点与离散控制点对应无人自行车各部分运动变量;

(3-4) 对步骤 (3) 中所得关节变量进行三次样条插值, 得到各运动变量的运动函数;

因为三次样条曲线具有在插值点两侧二阶导数连续的优点, 因此三次样条曲线的曲率是连续的, 也就意味着自行车转向不会发生突变, 自行车可以平顺形式的必要条件, 从而能够实现在自行车行驶过程中行车者还能处理一定的其他事务。

如图 1 所示, 根据发明是实力的插值点选择示意图, 而规划路径时关键插值点的一般选取原则为:

第一点：本自行车后轴中心（即坐标原点）。

第二点：道路中心线第一采样点与右侧路边线第一采样点的中点。

第三点：道路中心线第五采样点与右侧路边线第五采样点的中点。

第四点：道路中心线第十采样点与右侧路边线第十采样点的中点。

当前方遇到障碍物时产生特殊关键点，通过平移处理以取代上述四点中的部分关键点。

根据关键点坐标插值生成三次样条曲线即为行车路径，插值过程中使用第一边界条件，即始点和终点的斜率为给定值，始点的斜率取 $k_0 = 0$ ，终点的斜率根据如下公式（2）进行计算：

$$k_1 = \frac{y_{10} - y_9}{x_{10} - x_9} \quad (2)$$

式中 k_1 为终点处导数； x_9 为车道中心线第 9 点横坐标； x_{10} 为车道中心线第 10 点横坐标； y_9 为车道中心线第 9 点纵坐标； y_{10} 为车道中心线第 10 点纵坐标。

（3-5）生成初级行车路径。

在特殊工况下，比如自行车转弯和掉头的时候采用简单高效的圆弧曲线作为行车路径，如图 3 所示。

局部路径以 20Hz 速率进行实时更新，以满足轨迹实时生成的需要。

在普通工况下，根据曲率公式（3）和转向角公式（4）按照附图 4 的步骤生成轨迹，其中曲率公式（3）为：

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

式中， K 表示曲线 $y(x)$ 的斜率，根据转向运动学关系 $\tan \alpha = BK$ （5）获得转向角的计算公式（4），即 $\alpha = \arctan(BK)$ ，式中 B 表示汽车轴距， α 表示转向角。

步骤具体为：

(3-5-1) 在路径曲线上按横坐标等距选取 11 点，将路径分割成 10 段；

(3-5-2) 将 t_0 , t_1 点作为第一段轨迹的起始点和终点， t_0 时刻的位置为 $(0, 0)$ ，速度为匀速行驶时速度 v ，X, Y 方向速度分量为 $(v, 0)$ ， t_1 时刻位置来源于路径，并根据该路径点转弯半径求得最大安全车速，如果其大于 v ，则将 v 作为 t_1 时刻车速，反之将最大安全车速作为 t_1 时刻车速，其 X, Y 向分量由该点路径斜率求得，将 t_0 , t_1 点间的距离除以 t_1 , t_2 两点处速度均值，其结果作为 t_1 的值；

(3-5-3) 以 t_0 , t_1 点处的位置、速度作为 4 个条件联立方程求的第一段轨迹参数方程：

$$X(t) = at^3 + bt^2 + ct + d, \quad Y(t) = mt^3 + nt^2 + ot + p$$

(3-5-4) 将 t_1 时刻作为第二段轨迹的起始点按照 (3-5-2) 和 (3-5-3) 的规则循环，则可以分别求出第二至第十段轨迹参数方程；

(3-5-5) 十段轨迹组成时间分段函数，按 0.005s 给出各个时刻点处的速度和转向角数值并传送给自行车底盘模块。

(3-6) 取运动函数极值对应点，进行运动学正解，利用式 (1) 判断是否与障碍物相碰，检验三次样条插值精度和离散点数目是否符合要求；

(3-7) 利用符合要求的关节运动函数驱动人的腿部关节，实现无人自行车避障。

采用设计的路径以及算法步骤，通过避障路径仿真，得到无人自行车末端执行器轨迹，其运动速度与插补速度相关，当插补为匀速时，其末端执行器在空间轨迹与所规划路径吻合，符合一定速度范围内无人自行车行车过程避障要求，其各个轴向速度曲线具有单调性，速度变量在约束条件内，各轴最大速度满足无人自行车综合特性，末端执行器各轴速度曲线变化平滑、连续，表明无人自行车末端执行器在避障过程中不会发生振动，从而保证无人自行车的平稳控制与运动。

虽然本发明已经参考特定的说明性实施例进行了描述，但是不会受到这些实施例的限定而仅仅受到附加权利要求的限定。本领域技术人员应当理解可以在不偏离本发明的保护范围和精神的情况下对本发明的实施例能够进行改动和修改。

权 利 要 求 书

1. 一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于包括如下步骤：

(1) 利用环境感知系统所得环境数据将统一到同一坐标系下，并生成环境地图，环境地图包含障碍物地图和自行车道线地图两种类型；

(2) 根据一般工况下自行车自动驾驶跟随自行车道线行驶的原则，采用拟合车道中心线作为行驶路径，建立当量包围盒，确定障碍物几何中心，确定避障过程路径；

(3) 根据无人自行车与障碍物发生碰撞的条件公式以及选取的路径，无人自行车执行避障步骤。

2、根据权利要求 1 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤 (1) 中的所述障碍物地图以极坐标形式给出，坐标原点为无人自行车后轴中心点，包括 720 个数据，即 0.5 度一个数据，用来表示该方向上的最近物体离自行车中心的直线距离，如果没有障碍物，其数值设为最大距离值。

3、根据权利要求 1 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤 (1) 中的所述自行车道线地图由一组车道线数据组成，用车道线位置数据和线型数据两部分表示，位置数据为车道线上所提取 10 个采样点的直角坐标，线型包含：路边线、双黄线、单实线、单虚线、停车线、斑马线、禁停线等。

4、根据权利要求 1 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤 (2) 中设圆心坐标为 $O(x_0, y_0, z_0)$ ，无人自行车末端执行器参考点坐标为 $P(p_x, p_y, p_z)$ ，当式 (1) 成立时，无人自行车与障碍物发生碰撞。

$$\sqrt{(p_x - x_0)^2 + (p_y - y_0)^2 + (p_z - z_0)^2} \leq r \quad (1)$$

5、根据权利要求 4 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤（2）中设障碍物圆心为 o ，半径为 r ，无人自行车末端执行器运动起始点为 A ，目标点为 B ，避障规划过程中，根据运动路径最短和末端执行器可达空间最大化原则选择多种曲线路径，其中末端点由末端执行器和障碍物的空间尺寸及避碰安全系数决定。

6、根据权利要求 1 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤（3）按照如下流程进行：（3-1）确定无人自行车工作空间，求解障碍物中心与末端执行器空间坐标；（3-2）将空间圆弧 ADB 离散化若干控制点，确定避障路径的起点与终点；（3-3）运用运动学逆解求得起点、终点与离散控制点对应无人自行车各部分运动变量；（3-4）对步骤（3）中所得关节变量进行三次样条插值，得到各运动变量的运动函数；（3-5）生成初级行车路径；（3-6）取运动函数极值对应点，进行运动学正解，利用式（1）判断是否与障碍物相碰，检验三次样条插值精度和离散点数目是否符合要求；（3-7）利用符合要求的关节运动函数驱动人的腿部关节，实现无人自行车避障。

7、根据权利要求 6 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤（3-4）中三次样条插值点的选取原则为：第一点：本自行车后轴中心，第二点：道路中心线第一采样点与右侧路边线第一采样点的中点，第三点：道路中心线第五采样点与右侧路边线第五采样点的中点，第四点：道路中心线第十采样点与右侧路边线第十采样点的中点，当前方遇到障碍物时产生特殊关键点，通过平移处理以取代上述四点中的部分关键点。

8、根据权利要求 1 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤（3）中根据关键点坐标插值生成三次样条曲线即为行车路径，插值过程中使用第一边界条件，即始点和终点的斜率为给定值，始点的斜率取 $k_0 = 0$ ，终点的斜率根据如下公式（2）进行计算：
$$k_1 = \frac{y_{10} - y_9}{x_{10} - x_9}$$
，式中， k_1 为终点处导数； x_9 为车道中心线第 9 点横坐标； x_{10} 为车道中心线第 10 点横坐标；

y_9 为车道中心线第 9 点纵坐标； y_{10} 为车道中心线第 10 点纵坐标。

9、根据权利要求 6 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤（3-5）生成初级行车路径中，在特殊工况下采用简单高效的圆弧曲线作为行车路径，在普通工况下，根据曲率公式（3）和转向角公式（4）生成轨迹。

10、根据权利要求 6 所述的一种面向无人自行车的局部避障路径规划方法，其特征在于：所述步骤（3-5）的曲率公式（3）为：
$$K = \frac{|y''|}{(1+y'^2)^{\frac{3}{2}}}$$
，式中， K 表

示曲线 $y(x)$ 的斜率，根据转向运动学关系 $\tan \alpha = BK$ 获得转向角的计算公式，即 $\alpha = \arctan(BK)$ ，式中 B 表示汽车轴距， α 表示转向角。

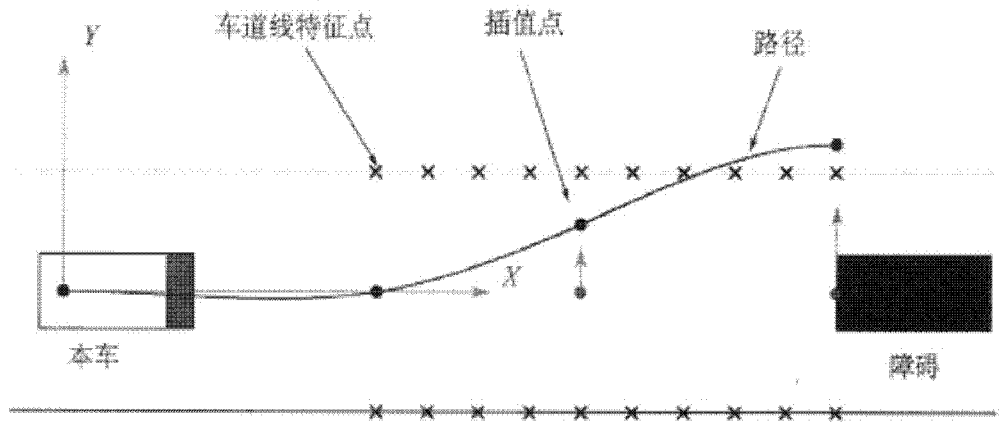


图 1

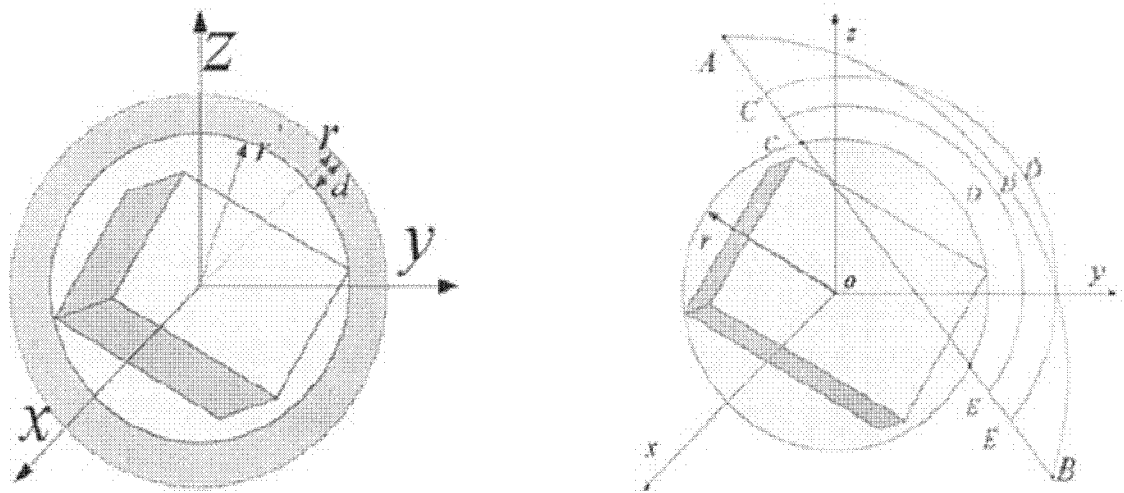
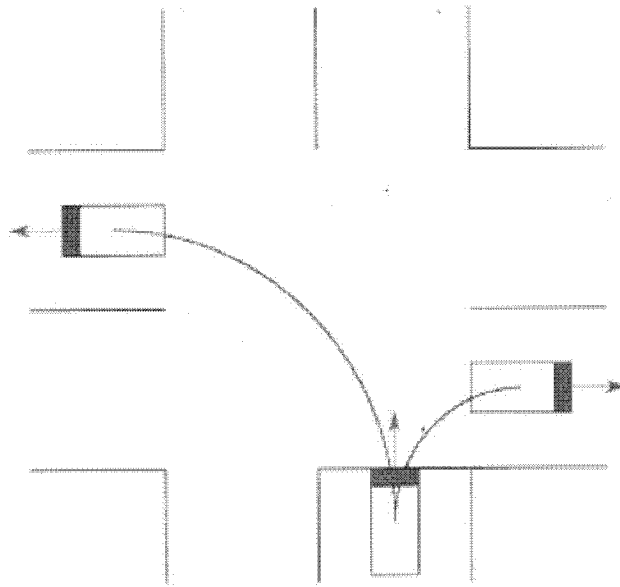
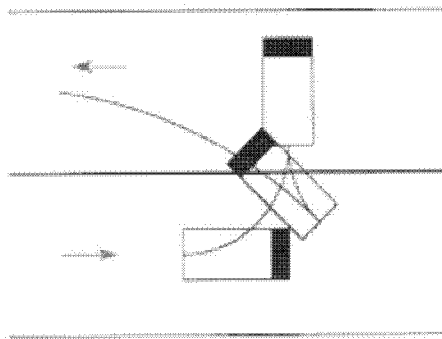


图 2



路口左转弯工况



掉头工况

图 3

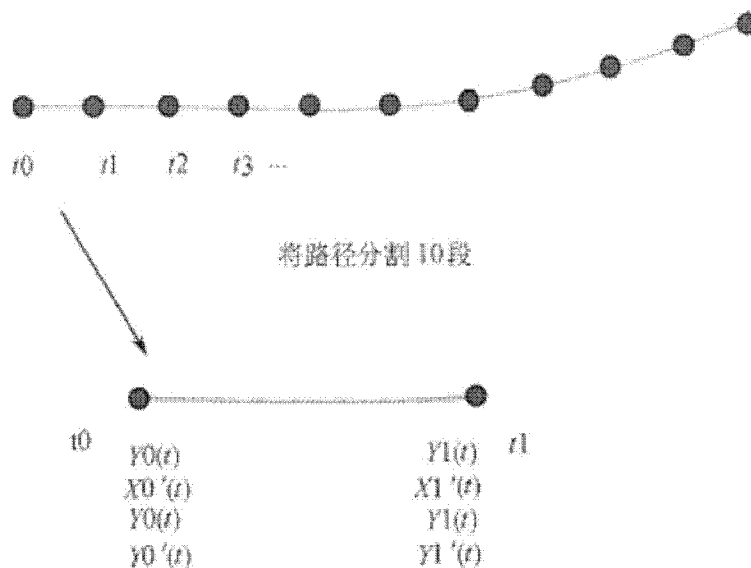
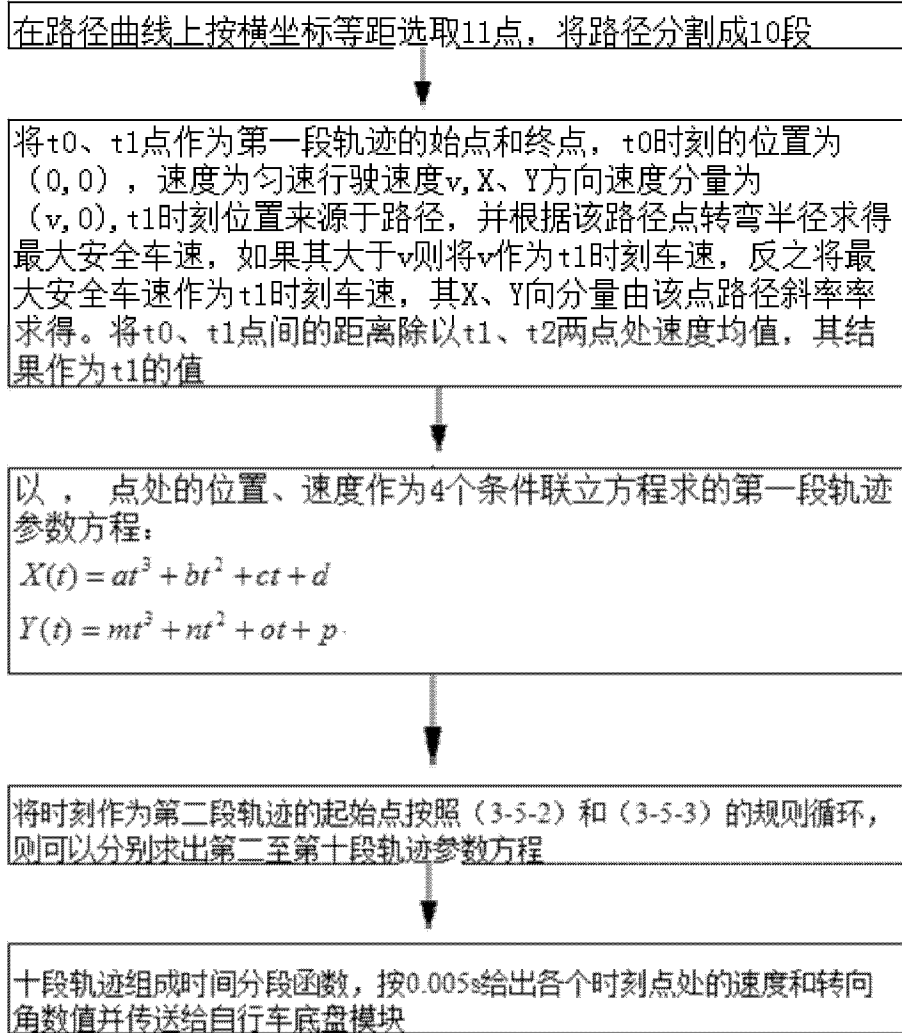


图 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/084507

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05D 1/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05D; G01C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 局部, 避, 障, 碰撞, 路, 规划, 坐标, 三次样条, 插值, part, partial, avoid+, obstacle, collision, road, path, plan+, coordinate, cubic w spline, interpolation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 105974917 A (JIANGSU UNIVERSITY), 28 September 2016 (28.09.2016), description, paragraphs [0035]-[0091], and figures 1-11	1-5
A	CN 102353379 A (SHANGHAI MARITIME UNIVERSITY), 15 February 2012 (15.02.2012), entire document	1-10
A	CN 102591332 A (TONGJI UNIVERSITY), 18 July 2012 (18.07.2012), entire document	1-10
A	US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS, INC.), 08 June 2010 (08.06.2010), entire document	1-10
A	CN 106530380 A (CHANG' AN UNIVERSITY), 22 March 2017 (22.03.2017), entire document	1-10
A	CN 105759820 A (JINING ZHONGKE ADVANCED TECHNOLOGY INSTITUTE CO., LTD.), 13 July 2016 (13.07.2016), entire document	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search
08 December 2017

Date of mailing of the international search report
28 December 2017

Name and mailing address of the ISA
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No. (86-10) 62019451

Authorized officer
MA, Bing
Telephone No. (86-10) 62414453

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/084507

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 105974917 A	28 September 2016	None	
CN 102353379 A	15 February 2012	CN 102353379 B	13 February 2013
CN 102591332 A	18 July 2012	CN 102591332 B	13 August 2014
US 7734387 B1	08 June 2010	None	
CN 106530380 A	22 March 2017	None	
CN 105759820 A	13 July 2016	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/084507

<p>A. 主题的分类 G05D 1/02(2006.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																							
<p>B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) G05D; G01C</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 局部, 避, 障, 碰撞, 路, 规划, 坐标, 三次样条, 插值, part, partial, avoid+, obstacle, collision, road, path, plan+, coordinate, cubic w spline, interpolation</p>																							
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 105974917 A (江苏大学) 2016年 9月 28日 (2016 - 09 - 28) 说明书第[0035]-[0091]段、附图1-11</td> <td>1-5</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102353379 A (上海海事大学) 2012年 2月 15日 (2012 - 02 - 15) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102591332 A (同济大学) 2012年 7月 18日 (2012 - 07 - 18) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS, INC.) 2010年 6月 8日 (2010 - 06 - 08) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106530380 A (长安大学) 2017年 3月 22日 (2017 - 03 - 22) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105759820 A (济宁中科先进技术研究院有限公司) 2016年 7月 13日 (2016 - 07 - 13) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 105974917 A (江苏大学) 2016年 9月 28日 (2016 - 09 - 28) 说明书第[0035]-[0091]段、附图1-11	1-5	A	CN 102353379 A (上海海事大学) 2012年 2月 15日 (2012 - 02 - 15) 全文	1-10	A	CN 102591332 A (同济大学) 2012年 7月 18日 (2012 - 07 - 18) 全文	1-10	A	US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS, INC.) 2010年 6月 8日 (2010 - 06 - 08) 全文	1-10	A	CN 106530380 A (长安大学) 2017年 3月 22日 (2017 - 03 - 22) 全文	1-10	A	CN 105759820 A (济宁中科先进技术研究院有限公司) 2016年 7月 13日 (2016 - 07 - 13) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
X	CN 105974917 A (江苏大学) 2016年 9月 28日 (2016 - 09 - 28) 说明书第[0035]-[0091]段、附图1-11	1-5																					
A	CN 102353379 A (上海海事大学) 2012年 2月 15日 (2012 - 02 - 15) 全文	1-10																					
A	CN 102591332 A (同济大学) 2012年 7月 18日 (2012 - 07 - 18) 全文	1-10																					
A	US 7734387 B1 (ROCKWELL COLLINS, INC.) 2010年 6月 8日 (2010 - 06 - 08) 全文	1-10																					
A	CN 106530380 A (长安大学) 2017年 3月 22日 (2017 - 03 - 22) 全文	1-10																					
A	CN 105759820 A (济宁中科先进技术研究院有限公司) 2016年 7月 13日 (2016 - 07 - 13) 全文	1-10																					
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																						
2017年 12月 8日	2017年 12月 28日																						
ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员																						
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	马兵																						
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62414453																						

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/084507

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	105974917	A	2016年 9月 28日	无			
CN	102353379	A	2012年 2月 15日	CN	102353379	B	2013年 2月 13日
CN	102591332	A	2012年 7月 18日	CN	102591332	B	2014年 8月 13日
US	7734387	B1	2010年 6月 8日	无			
CN	106530380	A	2017年 3月 22日	无			
CN	105759820	A	2016年 7月 13日	无			

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)