

# 基于雷达的无人车路径规划与避障研究

王世军, 韩立伟, 杨宏斌, 王力

(北方导航控制技术股份有限公司研发部, 北京 100176)

**摘要** 本文对基于雷达的地面无人车(机器人)路径规划和避障进行了研究, 提出了一种无人车雷达探测系统的组成及基于遗传算法的路径规划方法。本文方法已在无人车自主导航中得到了成功的应用。

**关键词:** 无人车, 路径规划, 雷达, 避障, 遗传算法

## 0 引言

当今, 世界进入了前所未有的高科技发展阶段, 军事科技的发展使武器装备不断推陈出新, 士兵在反恐战场上的面临的威胁越来越多, 为了最大限度的减少反恐行动中的人员伤亡, 无人车越来越多的被应用于作战和反恐行动中, 执行一系列诸如侦察、监视、攻击、探爆排爆、有害物质探测等高难度和高危险性任务<sup>[1]</sup>。为应对这一系列复杂任务, 无人车的避障与路径规划技术越来越受重视。

路径规划是无人车(机器人)的一项重要功能, 作为无人车核心技术之一的路径规划技术也成为近年来业内的研究热点。而防撞雷达成为路径规划技术主要依托的传感器。1971 年以来相继出现了超声波、激光、红外、视频、等多种方式的车辆防撞雷达。前四种结构简单、价格低廉, 但不满足全天候要求, 毫米波雷达具有 RF 带宽大, 分辨率高, 天线尺寸小, 能适应恶劣环境, 重量轻、体积小和全天候等特点, 未来在无人车避障与路径规划中的应用前景广泛。

无人车的路径规划问题是指在有障碍物的工作环境中寻找一条恰当的从给定起点到终点的运动路径, 使无人车在运动过程中能安全、无碰撞地绕过所有的障碍物<sup>[2]</sup>。根据无人车对环境信息感知的程度不同, 可分为两种类型: 一个是基于环境先验信息已知的全局路径规划, 另一个是基于传感器信息的局部路径规划, 后者环境是未知或部分未知的, 即障碍物的尺寸、形状和位置等信息必须通过传感器获取。本文讨论的情况属于后者, 即通过雷达实时探测行进过程中前方的障碍物情况, 为无人车的路径规划提供环境信息。

## 1 防撞雷达的测距控制原理

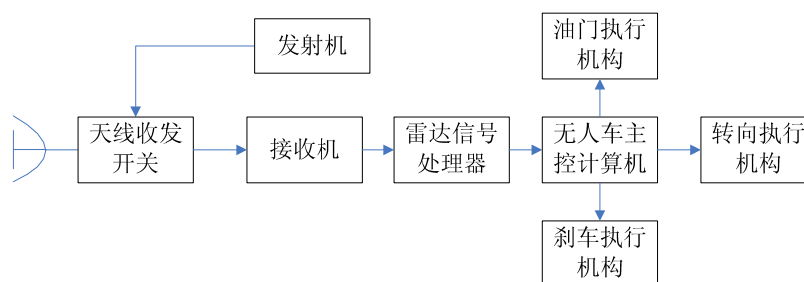


图1 无人车的雷达探测系统组成框图

### 1.1 障碍物探测

无人车行驶过程中, 雷达波束向前发射信号, 当发射信号遇到障碍物目标时, 被反射回来被接收天线接收, 经混频放大处理, 可用其差拍信号间来表示雷达与目标的距离, 再根据差频信号相差与相对速度关系, 计算出障碍物目标对雷达的相对速度。

### 1.2 路径规划与障碍物识别

无人车主控计算机将目标距离和速度这两个物理量代入危险时间函数数字模型后, 即可算出危险时间。当危险程度达到各种不同等级时, 分别输出报警信号或通过车辆控制电路来控制车速或刹车。当距离过近时, 无人车主控计算机机会通过车上的计算机网络 CAN-BUS 与发动机 ECU、变速器 ECU 及 ESP(车辆稳定

行驶系统)、ABS 刹车系统 ECU, 通过限制发动机输出转速, 调节刹车作用力及变速箱档位, 控制定速巡航的车速, 避免发生碰撞。同时, 无人车的路径规划处理器会根据障碍物情况重新进行路径规划, 确定新的行驶路径, 并将路径信息转化为无人车的油门、转向或刹车控制参数, 通过控制这三个参数, 来控制无人车的行进路径。若前方无障碍物 (100 米为限), 车辆会加速至预设的巡航速度。

## 2 基于遗传算法的路径规划

遗传算法是智能控制的一个重要分支。智能控制是人工智能与自动控制的交叉, 通过模拟人类的智能来实现对机器人的控制。如果说人工神经网络是从结构上对人类智能的模拟, 模糊控制的基本思想则是 Darwin 进化论和 Mendel 的遗传学。

### 2.1 遗传算法和初始化

在遗传法运算中, 一条路径可以描述为一个染色体。如果路径包含  $n$  个节点, 这些点将会组成  $n-1$  段直线。其中第一节点表示航迹的起始点 (同样默认为任务完成后返回点), 最后一个节点就是目标点。

上述两点是一些序号不确定的中间点。如果一个节点和从该节点到本段路径的下一点也在雷达传感器的感知范围内, 那么该节点应包含与之相对应的位置和的状态信息。综上所述, 一条路径可能有很多节点组成。当无人车的任务开始, 一条从起点到目标点位置的路径也就产生了。如果无人车行进过程中雷达探测到障碍物的位置, 那么遗传算法的初始值随即产生, 每个基因 (路径点) 随机产生。无人车从当前路径开始, 不断进行进化运算, 并找到最佳轨迹<sup>[3][4]</sup>。遗传算法的流程图如图 3 所示。

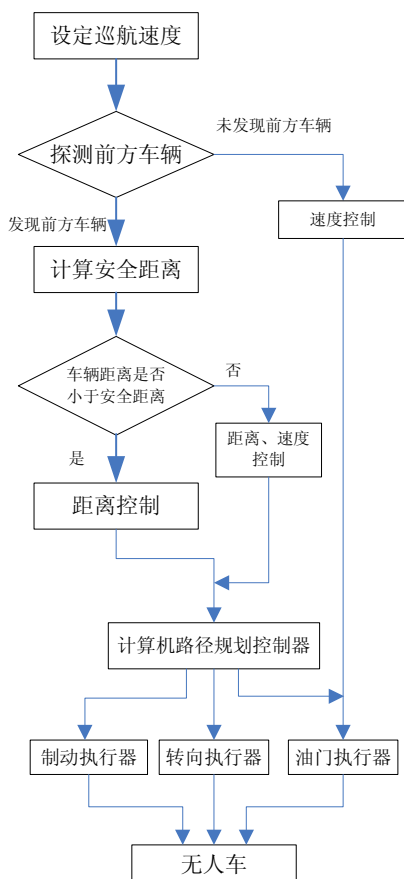


图 2 无人车路径规划流程图

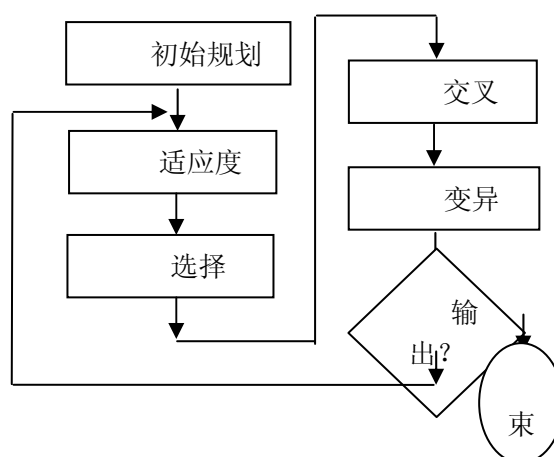


图 3 遗传算法的流程图

### 2.2 路径评估

路径评估是指由评估函数计算出每个合适的染色体 (路径)。合适的评估函数从三方面评估路径: 最小

巡航距离、轨迹的平滑度、与目标点之间的距离，可以用以下公式表述：

$$length(p) = 1 - \left[ \sum_{i=1}^{n-1} l(WP_i, WP_{i+1}) \right] / \max_i [length(p_i)] \quad (1)$$

式中  $length(p)$  表示总的路径长度， $l(WP_i, WP_{i+1})$  表示路径中相邻两点  $WP_i$  和  $WP_{i+1}$  之间的长度， $\max_i [length(p_i)]$  表示所有路径中的最大值。

$$obstacle(p) = \min_i \frac{0.01}{0.01 + e^{-4.6 \times |WP_i WP_{i+1}, obs| / R_{radar}}} \quad (2)$$

式中  $|WP_i WP_{i+1}, obs|$  表示  $WP_i WP_{i+1}$  段的距离和雷达位置，在本文的方法中，假设雷达的探测范围  $R_{radar}$  已知。

$$smooth(p) = \left\{ \sum_{i=2}^{n-1} [ |WP_{i-1} WP_{i+1}| / (|WP_{i-1} WP_i| + |WP_i WP_{i+1}|) ] \right\} / \max_i [smooth(p_i)] \quad (3)$$

式中  $| \cdot |$  表示两点之间的距离。

通过(4)式可以计算适应度：

$$Fitness(p) = w_L \times length(p) + w_o \times obstacle(p) + w_s \times smooth(p) \quad (4)$$

其中，权重系数  $w_L$ 、 $w_s$  和  $w_d$  分别表示路径长度、平滑度和与各个障碍物之间距离所占的权重。

### 2.3 遗传算子

#### 1) 交叉算子

交叉算子用来将两条路径合成为两条新的路径。交叉的位置  $c$  通过随机产生，两条路径的前  $c$  个位置点进行互换，以产生两条新的路径。

#### 2) 变异算子

变异算子用于将一个随机的变化引入当前路径。在路径中，每个位置点赋予一个概率，如果一个点的概率大于特定的阈值  $T_m$ ，这个点的位置坐标将发生一定的变异。注意，变异后的路径可以在雷达的范围内也可以不在。

#### 3) 回归算子

由于起始位置和目标位置之间的最短路径为直线，因此在障碍物稀疏分布的情况下，该操作符使得路径中的各个位置点在不发生障碍物碰撞的前提下，向最短路径趋近，以缩短路径的总距离。

#### 4) 平滑算子

平滑算子可消除路径中的尖角。设一条路径由位置点  $p_1$ 、 $p_2$ 、...、 $p_i$ 、 $p_{i+1}$ 、...、 $p_n$  构成，算子根据两个相邻路径段  $p_{i-1}p_i$  和  $p_i p_{i+1}$  的长度进行判断，如果两个相邻路径段的长度之和与路径段  $p_{i-1}p_{i+1}$  的长度之比大于设定阈值  $T_s$ ， $p_i$  这将被删除，并在  $p_{i-1}p_{i+1}$  的中点插入新的路径点  $p_i$ 。使用这个算子的目的就是提高通过原始点的两段线之间的角度以实现路径平滑。通过该算子后，路径中大的尖角将得到有效的消除。

图 4~图 11 为使用遗传算法进行路径规划的中间结果和最终结果。图 6 至图 11 分别表示分次迭代中所有染色体中的最佳结果。从图中可以看出，采用遗传算法进行多次迭代仿真后，可以最终得到较为满意的行驶路径。

## 3 结束语

本文主要对基于雷达的地面无人车（机器人）进行路径规划算法的研究，提出一种基于雷达的路径规划算法。实际应用结果显示该算法效果良好，可用于军用无人探雷车、无人侦察车及班组任务支援无人车的路径规划。



图4 初始规划路径

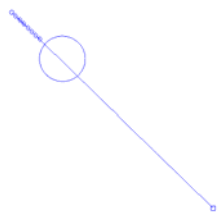


图5 检测到障碍物

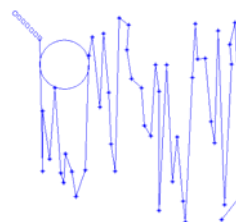


图6 迭代计算2次的路径

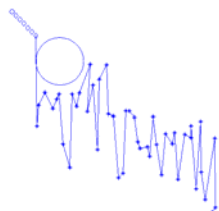


图7 迭代计算4次的路径

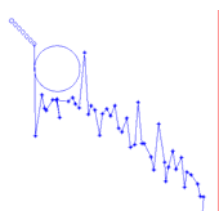


图8 迭代计算8次的路径

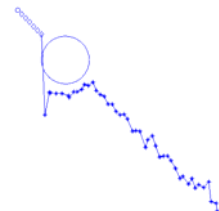


图9 迭代计算10次的路径

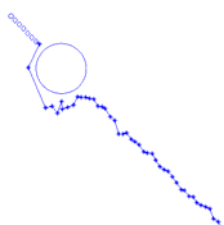


图10 迭代计算14次的路径

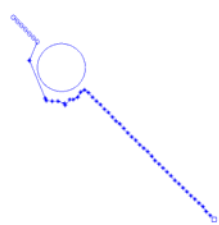


图11 迭代计算20次的路径

**参考文献:**

- [1] Shigeo Hirose, Edwardo F Fukushima, Riichiro Damoto and Hideichi Nakamoto. Design of terrain adaptive versatile crawler vehicle HELIOS-VI[C], Proceedings of the 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems, 2001:1540-1545.
- [2] 段俊花, 李孝安. 基于改进遗传算法的机器人路径规划. 微电子与计算机, 2005.22 (1).
- [3] 吴晓涛, 孙增圻. 用遗传算法进行路径规划[J]. 清华大学学报(自然科学版); 1995年05期.
- [4] Choset, H. M. (2005). Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementation. Cambridge, MA: MIT Press.