

正弦曲线的足球机器人路径规划

柳在鑫 王进戈 朱维兵

(西华大学机器人研究所, 四川 成都 610039)

摘要 为了提高机器人足球比赛中的成功率, 在分析基本算法不足的基础上, 利用正弦曲线具有光滑、可微的特性, 解决机器人小车在到达目标点位置和姿态的运动过程中, 所遇到障碍物及保持最佳姿态的路径规划问题. 仿真试验表明, 提出的方法具有较强的路径规划能力, 对机器人初始条件可不加限制, 计算量非常小, 具有较高的实用价值.

关键词 足球机器人, 正弦曲线, 避碰, 最优路径规划

中图分类号 TP 242.6; TP 301.6; O 221

文献标识码 A

在足球机器人中, 路径规划的目的主要是为了在充满对抗的赛场上, 规划出 1 条满足某项评价指标的无碰路径. 路径规划主要应用于机器人底层策略中, 作为足球机器人基本动作实现的基础, 它的优劣将直接影响动作的实时性和准确性. 薄喜柱等^[1]采用离散的栅格势场来规划路径, 取得了较好的效果, 但其为了提高规划的准确性, 必须对赛场进行更细的栅格划分, 也就降低了实时性. Lee 等^[2]提出了安全弧的方法, 能规划出较优的路径, 且方法比较简单, 但是由于它假设了在每个采样周期内机器人移动的距离固定不变, 因此, 在应用范围上有很大的局限性. 此外, 一些学者把遗传算法^[3,4]和神经网络^[5]等智能算法也运用到足球机器人的路径规划中. 尽管这些方法比较适合复杂系统建模, 但都很难满足实时性要求. 在足球机器人路径规划领域, 由于路径既要满足机器人的初始位置和运动方向, 又要满足目标位置和运动方向. 因此, 本文的路径规划问题可描述为在给定两个端点位置与速度的条件下, 寻求 1 条正弦曲线, 使其满足以下两个条件. (1) 曲线通过两 endpoint. (2) 两 endpoint 处的速度方向分别与两个 endpoint 处切线重合.

1 正弦曲线路径规划

1.1 正弦曲线路径规划原理

假设已知初始位置 $P_s(x_s, y_s)$ 、初始速度 v_s (方向角为 a_s)、目标位置 $P_d(x_d, y_d)$, 以及末端速度 v_d (方向角为 a_d), 则始终能够找到 1 条如图 1 所示的, 经过初始位置 P_s 和目标位置 P_d 的正弦曲线. 即 $Y = k_1 \sin k_2 x$. 由于初始位置 P_s 和目标位置 P_d 均在该曲线上, 故有 $y_s = k_1 \sin k_2 x_s$, $y_d = k_1 \sin k_2 x_d$. 曲线在 P_s 及 P_d 的速度方向 v_s 与 v_d , 即为曲线在该点处的切线方向. 故又满足以下各条件

$$\frac{dy}{dx} \bigg|_{x=x_s} = k_1 k_2 \cos k_2 x_s = \tan a_s, \quad \frac{dy}{dx} \bigg|_{x=x_d} = k_1 k_2 \cos k_2 x_d = \tan a_d. \quad (1)$$

1.2 坐标变换

1.2.1 坐标系的定义 在微型足球机器人系统中, 机器人是在 1 个二维平面上运动, 通过垂直悬挂的摄像机获取平面场地图像, 使用二维直角坐标系就可以描述机器人的位置. 下面定义坐标系表示机器人

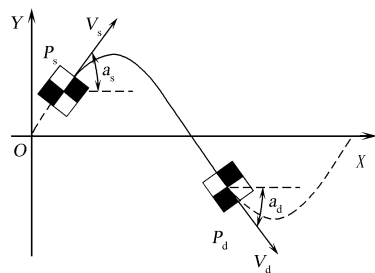


图 1 正弦曲线路径规划原理图

收稿日期 2006-04-23

作者简介 柳在鑫(1978-), 男, 讲师, 主要从事智能机器人的研究. E-mail: zhanxinliu@tom.com

基金项目 四川省应用基础研究基金资助项目(0322129); 四川省重点学科研究基金资助项目(SZD425231)

的位置和姿态. (1) 基本假设. (a) 球场坐标原点设在球场的左下角,如图 2 所示. (b) 右攻假设. 我方在左半场,向右进攻;对方在右半场,向左进攻;交换场地后,对视觉信息进行变换,使我方仍在左半场,向右进攻. 这对运动控制算法没有影响. (2) 坐标系定义. (a) 球场坐标系 OXY . 这里所介绍的足球机器人是一种差轮驱动的移动机器人,在一个近似矩形的场地里做平面运动. 在以场地为标准的基础坐标系 OXY 内,机器人质心坐标 (x, y) 代表机器人的位置,机器人正方向与球场坐标系 X 轴的夹角 a 表示机器人的姿态. 在这里,定义机器人的位姿 $P = [x, y, a]^T$. (b) 运动轨迹坐标系 $O'X'Y'$. 如图 2 所示,坐标系 $O'X'Y'$ 以机器人的初始位置为坐标系原点,以其运动轨迹(正弦曲线)的对称轴为 $O'X'$ 轴. 在以运动轨迹坐标系 $O'X'Y'$ 内,机器人质心坐标 (x', y') 代表机器人的位置,机器人正方向与运动轨迹坐标系 X' 轴的夹角 a' 表示机器人的姿态. 在这里,定义机器人的位姿 $P' = [x', y', a']^T$.

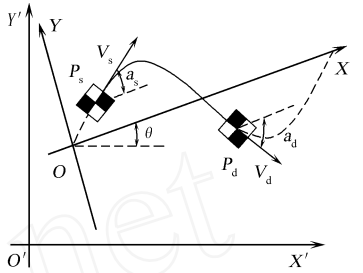


图 2 机器人位置与姿态示意图

1.2.2 坐标转换 设在球场坐标系 OXY 内,机器人任意一点的位姿 $P = [x, y, a]^T$,在运动轨迹坐标系 $O'X'Y'$ 内对应的 $P' = [x', y', a']^T$. 其实运动轨迹坐标系 $O'X'Y'$ 是将球场坐标系 OXY 先进行平移变换 T ,再进行了旋转变换 R 得到的,有

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R = \begin{bmatrix} \sin & -\cos & 0 \\ \cos & \sin & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \tag{2}$$

则

$$A = T \cdot R = \begin{bmatrix} \sin & -\cos & x_0 \\ \cos & \sin & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{3}$$

因此,可以得到运动轨迹坐标系中点的位置,在球场坐标系中的位置表示

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin & -\cos & x_0 \\ \cos & \sin & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix}, \tag{4}$$

其姿态为 $a = a' - \theta$, 则式(1)可简化为

$$\frac{dy}{dx} \Big|_{x=x_s} = k_1 k_2 \cos k_2 x_s = \tan (a_s - \theta), \quad \frac{dy}{dx} \Big|_{x=x_d} = k_1 k_2 \cos k_2 x_d = \tan (a_d - \theta). \tag{5}$$

在实际中,通过视觉子系统传递过来的信息是机器人在球场坐标系中的位姿 $[x, y, a]^T$,通过位置与姿态变换可以变换成运动轨迹坐标系中的位姿 $[x', y', a']^T$. 结合 y_s, y_d 和式(4), (5), 可以唯一确定 k_1, k_2 , 即在每一时刻可以唯一确定满足要求的正弦曲线.

1.3 最优路径规划

本文基于数学分析法,对障碍物约束条件下的非完整移动机器人的路径规划问题进行求解. 在这种描述方法下,此类问题被转化成为一类带有不等式约束条件的非线性极小化问题. 数学最优化方法中的复合形法^[6], 可用来求解这类问题. 该方法的特点是求解低维问题比较可靠. 最优化方法中还有许多其他方法也可以解决类似问题,如遗传算法、神经网络算法、模拟退火算法等,但这些算法通常比较复杂,运算量较大,不适合应用于机器人路径规划这一实时性要求较高的场合. 复合形法的数学模型为

$$\min f(X) \quad X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T,$$

其约束条件为 $g_j(X) \leq 0, j = 1, 2, \dots, m; a_i \leq x_i \leq b_i, i = 1, 2, \dots, n$ 其中, a_i, b_i 为设计变量的上、下限, n 表示变量个数. 设计变量为 $x_i, i = 1, 2, \dots, n$. 根据上述描述,给出基于正弦曲线的足球机器人最优路径规划问题的求解过程. (1) 路径优化的出发点是为了使路径最短、最平滑,因此定义目标函数为 $J = \min (J_1 + J_2)$. 其中, w_i 为加权系数, κ_i, L_i 分别为第 i 条路径的曲率和曲线长度,其计算公式为

$$\kappa(x) = \frac{|y''|}{(1 + y'^2)^{3/2}} = \frac{|-k_1 k_2^2 \sin(k_2 x)|}{(1 + k_1^2 k_2^2 \cos^2(k_2 x))^{3/2}}, \tag{6}$$

$$L(x) = \int_{x_s}^{x_d} \sqrt{1 + y'^2} \cdot dx = \int_{x_s}^{x_d} \sqrt{1 + k_1^2 k_2^2 \cos^2(k_2 x)} \cdot dx \quad (7)$$

正弦曲线是二次可微的,可以保证目标函数是连续函数。(2) 假设在足球机器人运动区域内共有 n 个障碍物,则整个障碍物区域的约束条件表示为 $G(x, y) = g(x, y) = 0$ 。(3) 从对正弦曲线方程的分析中可以看出,系数 k_1, k_2 对规划出的曲线起着至关重要的作用。因此,选取系数 k_1, k_2 作为设计变量。

2 仿真实例

为检验上述算法的有效性,本文进行仿真实验。假定障碍约束为正方形约束,其约束函数可表示为

$$g(x, y) = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - l^2$$

上式中, (x_0, y_0) 为障碍物的中心坐标, l 为对障碍物(机器人)的边长。假定移动机器人初始位姿为 $(10, 100, \pi/6)$, 目标位姿为 $(83, 20, -\pi/4)$, 环境中存在有 2 个障碍物,其位置分别为 $(47, 70)$ 和 $(85, 40)$, 障碍物边长为 7.5 cm, 其仿真结果如图 3 所示。由仿真结果可以看出,利用正弦曲线可保证机器人有效的避开障碍物到达目标位姿,且可保证规划路径上的每一点均满足非完整约束条件,有效地为机器人规划出避碰最优路径。

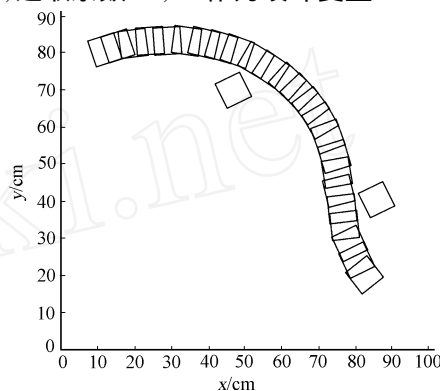


图 3 机器人最优避碰规划仿真结果图

3 结束语

本文利用正弦曲线具有光滑、可微,且能满足任意端点及其斜率要求的特性,实时、有效地解决机器人避开障碍物,从给定点到目标点找到 1 条最优路径规划问题。该方法可以摆脱传统人工势场法容易陷入局部最优的缺陷;能够在比较靠近的障碍物之间为机器人找到通道;规划的机器人路径比较平滑、易于跟踪。尽管提出的正弦曲线路径规划得到了比较满意的结果,但是要想激烈的足球机器人比赛中获得更好的成绩,需要我们进一步做更多的工作。

参 考 文 献

- 1 薄喜柱,洪炳熔. 动态环境下的多移动机器人路径规划的一种新方法[J]. 机器人, 2001, 23(5): 407 ~ 410
- 2 Lee S W, Nam Y S. Collision-free motion planning of a robot using safety arc[J]. IEEE Trans on Robotics and Automation, 1996, 12(2): 232 ~ 237
- 3 吴丽娟,徐心和. 基于遗传算法的足球机器人比赛中障碍回避策略的设计[J]. 机器人, 2001, 23(2): 142 ~ 145
- 4 李智军,吕恬生. 遗传算法在自主移动机器人局部路径规划中的应用[J]. 机械设计, 2000, 17(7): 26 ~ 29
- 5 周捷,翟羽健. 基于神经网络的自主车辆导航路径计算[J]. 机器人, 1999, 21(5): 363 ~ 368
- 6 刘惟信. 机械最优化设计[M]. 北京:清华大学出版社, 1994. 143 ~ 148

Soccer Robot Path Planning Based on Sinusoid

Liu Zaixin Wang Jinge Zhu Weibing

(Research Institute of Robot, Xihua University, 610039, Chengdu, China)

Abstract To improve the rate of soccer robot shooting a goal, by analyzing shortcoming of basic shooting algorithm. Sinusoid is used to solve the path-planning problem of collision avoidance and holding appropriate position because it is smooth and differential. The simulation results demonstrate that the proposed method performs path planning very well, effective and computationally undemanding and it has no restraints on the initial conditions of soccer robot.

Keywords soccer robot, sinusoid, obstacle avoidance, optimal path planning