

# 基于产生式规则的机器人动态避障

张倩<sup>1</sup>, 李铁军<sup>2</sup>, 陈虹宇<sup>3</sup>, 邵桂芳<sup>1\*</sup>

(1. 厦门大学信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005; 2. 集美大学信息工程学院, 福建 厦门 361021;

3. 集美大学轮机学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 以中型自主足球机器人作为对象, 研究其动态避障情况. 依据传感器输入信息进行特征识别, 选择距离机器人最近的为首要躲避障碍, 利用产生式规则进行机器人避障控制, 对远距离和近距离障碍采用不同的避障策略, 并引入虚拟点以躲避碰撞. 在仿真和实时环境下进行了实验, 分析了障碍位置不同和输入参数不同情况下的避障情况, 并传统人工势场法进行对比, 避免了传统人工势场法进行机器人避障时会出现陷入局部极小、抖动等问题. 实验结果表明该方法能使机器人快速有效的躲避障碍.

**关键词:** 机器人; 动态避障; 产生式系统; 人工势场法

**中图分类号:** TP 242. 6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2010)02-0166-05

移动机器人避障路径规划主要有全局路径规划和局部路径规划两种, 前者是一种基于环境先验完全信息的全局路径规划, 要得到精确的全局地图比较困难<sup>[1]</sup>; 后者则是基于传感器感知信息的局部路径规划.

动态环境下的局部路径规划运用较多的方法, 如势场法<sup>[2-3]</sup>、神经网络法<sup>[4]</sup>和遗传算法<sup>[5-7]</sup>. 遗传算法由于运算时间长, 很难找到一种正确度量不同路径优劣的适应度函数等特性, 使其在实时性非常强的环境中运用受限. 神经网络法静态地图导航在实时性要求不高、环境变化不复杂的动态导航中运用比较成功, 但由于其研究环境是非博弈性的, 整个运动是均匀运动, 未考虑障碍物的运动情况, 因此不太适用于机器人足球这种实时性强的对抗环境. 势场法将目标物考虑成引力点, 将障碍物考虑成斥力点, 通过计算模拟的场分布来获得机器人的运动路径.

具有计算方法简单, 计算量小, 且在避障和轨迹规划的同时也考虑了机器人的运动性能, 是博弈环境中使用最广泛的一种路径规划方法. 但传统势场法出现陷入局部极小、摇摆等问题, 且机器人运动大致方向始终是朝着目标的, 在障碍物为高速运动物体时, 往往会产生由于躲避不及而发生碰撞.

足球机器人比赛具有实时性强、全局信息不完备、多输出量之间耦合等特点, 因此, 本文提出利用基于规

则的产生式系统将避障行为划分为多个模态, 即依据与当前任务相关的局部感知信息, 实时规划机器人路径, 同时引入虚拟点以进行紧急躲避, 并传统势场法进行对比.

## 1 避障设计

### 1.1 设计思想

避障分为避开静态障碍和避开动态障碍两种, 主要目标是避开障碍干扰到达指定目标点. 由于没有全局信息, 无法预知场地上所有障碍, 因此, 可通过下面 3 个步骤来进行避障设计:

1) 确定需要躲避的障碍物. 不是场地上所有的物体都是障碍物, 只有那些影响或者可能将会影响机器人当前行走路径的物体才是障碍(如在机器人与目标物之间的物体、能威胁的机器人运动物体, 对于已处于机器人后方、不在前进正方向上的静止物体则不用再考虑).

2) 确定首要躲避障碍. 本文提出对首要躲避障碍的选择遵循以下原则: a) 首选是离机器人最近的障碍物, 即在同时面对多个运动障碍的时候, 选择在行走路径一定范围内离自己最近的障碍为首要躲避障碍物; b) 当有距离相同的障碍物时, 参照目标物的位置, 选择对当前行走路径影响较大的为首要躲避障碍. 这样做的目的是让机器人快速决策, 如果考虑的因素太多, 机器人将需要较长时间去思考, 从而错过时机, 有可能撞到障碍上.

收稿日期: 2009-06-30

基金项目: 国家自然科学基金(60443004); 重庆市教委项目(KJ080621)

\* 通讯作者: gfsiao@xmu.edu.cn

3) 确定躲避策略对远距离和近距离采取不同的避障方式. 距离较远的时候, 可以让机器人参照目的地位置来修改前进方向绕过障碍; 当距离很近并且感知到障碍还在迅速向自己靠拢时, 为了避免碰撞, 先放弃目标物, 让机器人迅速朝障碍物运动的反方向运动来摆脱障碍物, 等逃离到相对安全的距离, 再参照目的地绕过障碍的方法.

引入一个虚拟点, 作为紧急躲避时的假目标, 来帮助逃离障碍物. 虚拟点的设计如图 1 所示.

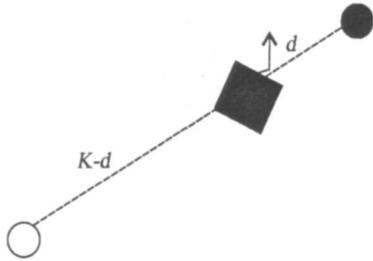


图 1 虚拟点设计示意图

Fig. 1 Design of the virtual point

黑色带箭头的方块表示机器人, 黑色圆点表示障碍物, 白色的虚线圆点为虚拟假目标. 其中, 机器人与障碍物之间的距离为  $d$ , 机器人与虚拟点之间的距离为  $K-d$  ( $K$  为一个足够大的正常数). 以机器人为原点, 障碍物与虚拟点之间的夹角为  $180^\circ$ .

### 1.2 系统分析

本文中的自主中型足球机器人是两轮驱动机器人<sup>[8]</sup>, 传感器主要有 2 个摄像头和一个里程计, 置于机器人前方的前景摄像头主要用于局部物体的精确定位, 置于机器人上方的全景摄像头可获取部分全局信息, 如球门等. 里程计主要用于机器人自身状态感知, 如移动过的距离. 机器人的运动主要通过对两轮的控

制来实现, 换算后可通过质心线速度和角速度来调整机器人位姿.

本文采用产生式规则来设计机器人避障行为, 即采用一系列“IF-THEN”规则, 通过规则库和推理机设计, 从而实现机器人的智能避障. 根据摄像头获取的感知信息, 通过特征提取, 可得到如下 8 个输入量:  $d_o$  (机器人与障碍物间距离)、 $\dot{d}_{ro}$  (机器人与障碍物间的运动趋势)、 $d_{rv}$  (机器人与虚拟点的距离)、 $\dot{d}_{rv}$  (机器人与虚拟点间的运动趋势)、 $d_n$  (机器人与目标之间的距离)、 $\dot{d}_n$  (机器人与目标之间的运动趋势)、 $\theta_r$  (机器人正方向与目标间的夹角)、 $\dot{\theta}_n$  (机器人在角度上与目标间的运动趋势)、 $\theta_{rv}$  (机器人正方向与虚拟点间的夹角)、 $\dot{\theta}_{rv}$  (机器人在角度上与虚拟点间的运动趋势). 其中,  $d_o < 0$  表示障碍物正在靠近,  $\dot{d}_{ro} > 0$  则表示远离障碍物, 其他同理.

机器人足球运动系统的运动过程中, 控制量有两个, 线速度  $u_v$  和角速度  $u_w$ . 控制方法主要是一些常规控制方法的融合, 如磅磅控制、比例控制、PD、PID 等. 为了使机器人具有较优的运动轨迹, 其运动控制并不是采用单一某一种控制方法, 而是多种控制方法的组合, 如某一过程采用 PD 和磅磅控制.

### 1.3 避障策略

机器人避障行为主要包括两个部分, 一是躲避障碍, 二是向目标运动, 基于此可设计机器人避障行为的规则库, 分别如表 1、2 所示, 表 1 列出了输入信息的状态划分, 表 2 为对应的运动输出. 表 2 中的数据为系数, 如第 1 行表示  $u_w = K_1$ ,  $u_v = l_1 \times \pi \times \text{sign}(\theta_r)$ , 即对线速度采用磅磅控制, 对角速度采用符号函数进行规划控制.

表 1 输入信息状态划分

Tab. 1 Different states of input information

输入								环境描述
$d_{ro}$	$\dot{d}_{ro}$	$d_{rv}$	$\dot{d}_{rv}$	$\theta_{rv}$	$d_n$	$\dot{d}_n$	$\theta_n$	
$< d_o$	$\leq 0$	-	$> 0$	-	-	-	-	距离威胁障碍较近, 并在靠近
$< d_o$	$\leq 0$	-	$\leq 0$	$> \theta_{c1}$	-	-	-	距离威胁障碍较近, 与虚拟点角度误差较大
$< d_o$	$\leq 0$	-	$\leq 0$	$\leq \theta_{c1}$	-	-	-	距离威胁障碍较近, 已对准虚拟点
$> d_o$	$> 0$	-	-	-	-	$> 0$	-	已摆脱障碍, 但远离目标
$> d_o$	$> 0$	-	-	-	-	$\leq 0$	$> \theta_{c2}$	已摆脱障碍, 靠近目标, 但与目标的角度误差较大
$> d_o$	$> 0$	-	-	-	$> d_1$	$\leq 0$	$\leq \theta_{c2}$	已摆脱障碍, 并对准目标, 距离目标较远
$> d_o$	$> 0$	-	-	-	$\leq d_1$	$\leq 0$	$\leq \theta_{c2}$	已摆脱障碍, 接近目标

注:“-”表示与输入状态不相关.

表 2 输出控制  
Tab.2 Output control

线速度 $u_v$			角速度 $u_w$				运动描述
1	$d_n$	$\dot{d}_{rt}$	$\theta_{rv}$	$\dot{\theta}_{rv}$	$\theta_{rt}$	$\dot{\theta}_{rt}$	
$K_1$	-	-	$l_1 \times \pi \times \text{sign}$	-	-	-	迅速转身
$K_2$	-	-	$l_2 \times \pi \times \text{sign}$	-	-	-	调整角度面对虚拟点
$K_3$	-	-	$l_3$	$l_4$	-	-	全速前进, 摆脱障碍
$K_4$	-	-	-	-	$l_5 \times \pi \times \text{sign}$	-	迅速转身
$K_5$	-	-	-	-	$l_6 \times \pi \times \text{sign}$	-	调整角度面向目标
-	$k_1$	$k_2$	-	-	$l_7$	$l_8$	向目标全速前进
-	$k_3$	$k_4$	-	-	$l_9$	$l_{10}$	减速接近目标

注:“-”表示与输出状态不相关.

表 1、2 中所涉及到的系数可以通过机器学习方式获取, 如利用遗传算法进行多参数优化.

通过对目标、工作环境、机器人自身物理结构及运动特点的分析, 本文提出通过 7 条产生式规则来规划机器人的避障行为, 并将障碍物和机器人变化实时反馈给控制器. 由于利用的是“条件-行动”的产生式规则, 机器人能够快速响应. 同时, 由于该行为由多个控制模式组成, 避免了完全“反应式”控制的规划能力缺乏问题.

## 2 仿真实验

### 2.1 实验设计

假定机器人在场地上, 目标为其正右方的门. 场地大小为  $6\text{ m} \times 8\text{ m}$ , 场地上实心小圆点为动态障碍物, 障碍物的初始坐标随机给定, 其运动轨迹为朝着机器人做变速度运动, 并能判断机器人的运动方向进行跟随拦截. 机器人用空心大圆表示, 其任务是从初始点出发, 避障运动到球门. 其中深色的线表示车体运动轨迹, 浅色的线表示障碍物的运动轨迹. 在 Matlab 6.5 下搭建仿真实验平台, 仿真周期为 50 ms.

输入参数为  $d_0 = 1.5$ ,  $d_1 = 0.3$ ,  $\theta_1 = \theta_2 = \pi/6$ , 输出  $K_1 = 1.3$ ,  $K_2 = K_3 = 2$ ,  $K_4 = 1$ ,  $K_5 = 1.5$ , 控制参数为  $k_1 = 4$ ,  $k_2 = 0$ ,  $k_3 = 2$ ,  $k_4 = 0$ ,  $l_1 = l_2 = 1$ ,  $l_3 = 2$ ,  $l_4 = 5$ ,  $l_5 = 4$ ,  $l_6 = 0.1$ ,  $l_7 = 1$ ,  $l_8 = 1.2$ ,  $l_9 = 1.8$ ,  $l_{10} = 4$ ,  $l_{11} = 6$ ,  $l_{12} = 0.2$ .

控制参数主要通过大量的遗传算法离线学习实验来获得, 由于学习算法比较耗时, 如果在实际比赛中在线学习, 将影响机器人立即响应, 故机器人采用学习好的参数参加比赛, 只是记录比赛相关数据, 用于参数的

改进学习.

### 2.2 实验分析

在仿真环境下, 将障碍物放置在不同位置, 观察机器人避障情况. 如图 2 所示.

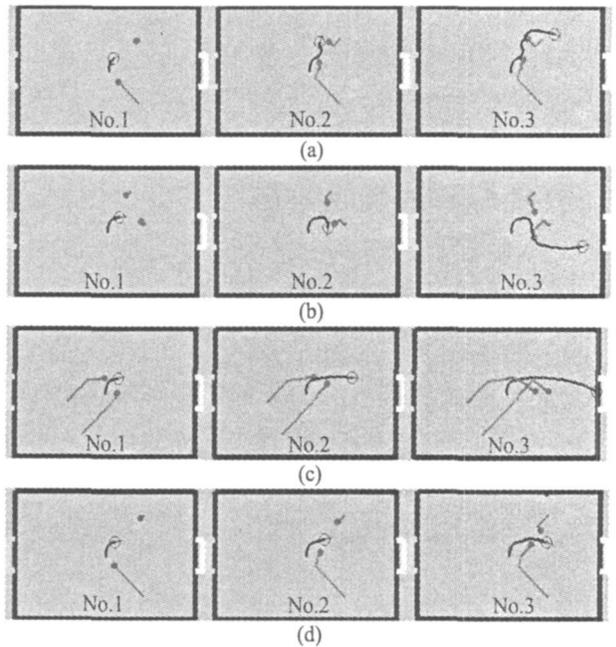


图 2 仿真避障情况

Fig. 2 The obstacle avoidance in simulation

当输入参数发生改变时, 机器人一样可以完成避障, 只是所选择的路径有所不同, 耗时不同, 图 3 展示了  $d_0, d_1$  变化下的避障情况, 其他参数不变.

从图 3 可以看出, 当  $d_0 = 2.5$ ,  $d_1 = 0.2$  时, 由于机器人把距离它 2.5 m 内的物体都判断为障碍, 并且选择躲避, 所以一直在躲避障碍, 到达不了目的地, 这也说明输入参数的变化是有范围的.

在实际比赛中(2006年苏州举办的RoboCup中

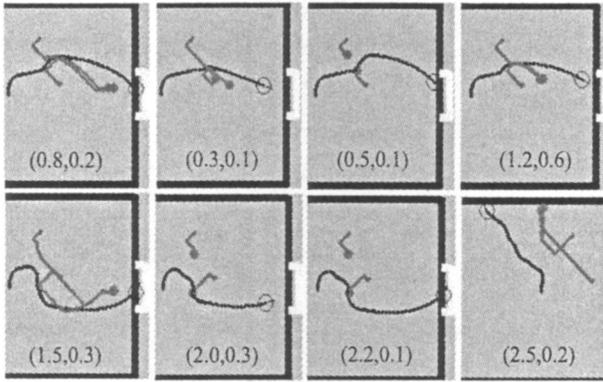


图 3 输入参数变化下的避障情况

Fig. 3 The obstacle avoidance when input parameters variable

国公开赛, 分别获得中型组 4: 4 二等奖和 2: 2 三等奖), 应用多模态方法取得了较好的控制效果, 如图 4 所示, 其中标号 1 为我方机器人, 其他均视为障碍物.

图 4(a) 为机器人带球绕过障碍的示意图, 标号 2 是最具威胁的运动障碍, 标号 3 可视为静态障碍; 图 4(b) 为机器人穿过障碍(标号 2, 3)去截球的示意图; 图 4(c) 是机器人带球绕过多个障碍的示意图, 其中标号 2, 3 和 5 可看成静态障碍, 标号 4 为运动障碍.

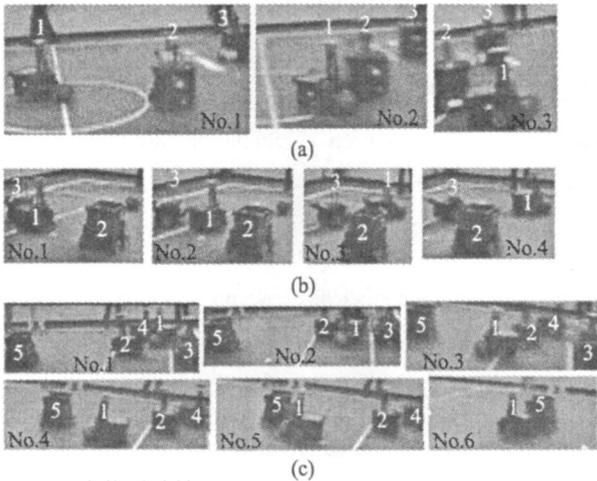


图 4 实物避障情况

Fig. 4 The obstacle avoidance in real environment

### 2.3 与传统势场法对比

#### 1) 优化行走路径

由图 5(a) 可以看出, 由于在势场法中, 机器人的行走方向是所有引力和斥力的合力方向, 因此机器人的行走路线为图中左边虚线, 即考虑了两个障碍物的行走路线. 而实际上, 障碍物 2 已经对机器人的行走不再构成威胁, 这时候只需要考虑障碍物 1 就可以了. 势场法时刻受场地关键物体的势场影响的特性导致机器人盲目避障而造成时间和路径上的浪费

由图 5(b) 所示, 本文由于采用了威胁障碍选取的方法, 不对机器人行走造成影响障碍不予考虑, 因此, 即使在障碍动态变化的情况下, 也能优化行走路径从而缩短行走时间

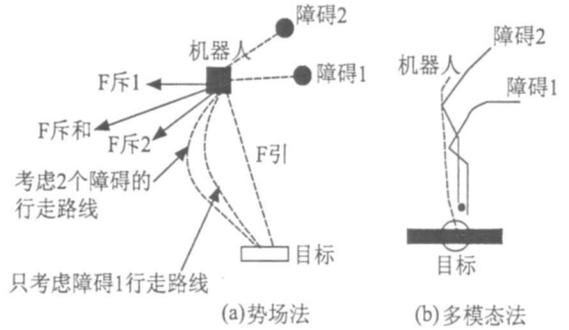


图 5 不同方法下的运动轨迹分析

Fig. 5 Analysis between potential field and new method

#### 2) 消除局部极小点

在某些特殊点, 势场法由于合力为零而导致局部极小. 在本文中由于对需要躲避的障碍进行了筛选, 在同一个时刻只有唯一一个威胁障碍需要躲避, 因此避免了多个障碍造成合力为零产生局部极小的状况.

#### 3) 改善穿越两个障碍之间摇摆前进的状况

如果机器人在两个障碍物之间, 即使合力不为零, 当机器人左拐时, 则左方斥力大于右方, 于是向右拐, 向右拐后, 右方斥力又大于左方, 于是又向左拐, 因此发生左右摇摆的情况, 如图 6(a) 所示.

在本文方法中, 在穿越障碍时由于位置变化造成威胁障碍物改变从而虚拟点随之改变会引起一点左右的姿态调整, 但由于虚拟点是随机器人与目标的相对位置实时变化的, 并且在同一时刻只考虑一个虚拟点的影响, 因此姿态调整迅速. 在穿越障碍之后也不再对没有威胁性的障碍加以考虑, 从而优化了行走路径. 由图 6(b) 可见, 即使在障碍物动态追踪情况下, 机器人也能以较优路径向目标运动.

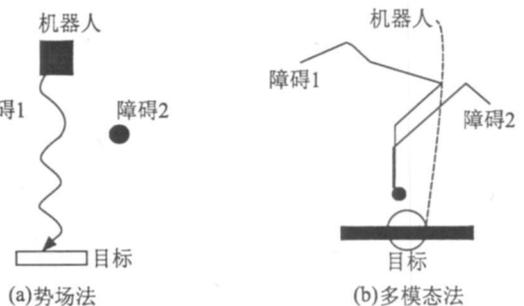


图 6 穿越障碍摇摆前进示意图

Fig. 6 Unsteadily across barrier

### 3 讨论

研究表明,与传统势场法相比,本文方法不存在局部极小点,避免了目标物和所有障碍都对机器人轨迹发生影响.能动态预测障碍物的运动情况进行避障,躲避动态障碍物.动态虚拟点的引入解决了机器人在某些情况下做重复运动陷入死锁的弊端.

#### 参考文献:

- [1] Wang H J, Xiong W. Research on global path planning based on colony optimization for AUV[J]. Journal of Marine Science and Application, 2009, 8(1): 58-64.
- [2] 张建英, 赵志萍, 刘瞰. 基于人工势场法的机器人路径规划[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(8): 1306-1309.
- [3] Jiang L H, Deng M C, Akira I. Obstacle avoidance and motion control of a two wheeled mobile robot using SVR technique[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2009, 5(2): 253-262.
- [4] 倪斌, 陈雄, 鲁公羽. 基于神经网络的未知环境路径规划算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(11): 73-76.
- [5] Nearchou A C, Aspragathos N A. Obstacle avoidance control of redundant robots using genetic algorithms[C]// 3rd IEEE Mediterranean Symposium on New Directions in Control and Automation. Limassol: IEEE Press, 1995: 60-67.
- [6] 刘国栋, 谢宏斌, 李春光. 动态环境中基于遗传算法的移动机器人路径规划的方法[J]. 机器人, 2003, 25(4): 327-343.
- [7] 刘庆波, 余跃庆, 苏丽颖. 基于遗传算法的欠驱动机器人避障规划与轨迹跟踪[J]. 北京工业大学学报, 2009, 35(4): 433-438.
- [8] Novak G, Seyr M. Simple path planning algorithm for two-wheeled differentially driven (2wdd) soccer robots[C]// Proceedings of the Second Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems. Graz, Austria: Graz University of Technology, 2004: 94-102.

## Obstacle Avoidance for Mobile Robot Based on Production Rule

ZHANG Qian<sup>1</sup>, LI Tie-jun<sup>2</sup>, CHEN Hong-yu<sup>3</sup>, SHAO Gui-fang<sup>1\*</sup>

(1. School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. School of Information Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China; 3. School of Marine Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** Taking middle size soccer robot as object, its dynamic obstacle avoidance has been studied. According to the input information and character recognition, the nearer one is selected as the principal obstacle to avoid. Making use of production rule, the obstacle avoidance behavior of soccer robot is designed. Different avoidance strategies are devised to the remote and close obstacle. A virtue point is also proposed to avoid collision. Many experiments have been done under simulation and real game and contrast with the traditional artificial potential field method. In terms of the variety of obstacle position and input parameter, the experiment results are analyzed. The chattering and local minimal questions of traditional artificial potential field are avoided. Experiment results have shown the validity of the method proposed in this paper, and this method can make robot quickly and effectively to avoid the obstacle.

**Key words:** robot; dynamic obstacle avoidance; production system; artificial potential field method