

# 足球机器人路径规划的 PSO 方法

陆克中<sup>1</sup>, 孙俊<sup>2</sup>

(1. 池州学院 计算机系, 安徽 池州 247000;

2. 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**研究足球机器人在已知静态环境下路径规划问题,在避障环境下寻求最优路径,提出了一种基于粒子群优化算法的足球机器人路径规划方法。为适应 PSO 算法的自身特点和提高算法搜索的效率,在传统栅格法的基础上引入实际坐标系法,对环境进行建模;为了更好地评价粒子(即解)的性能,在进行碰撞判定的基础之上,引入罚函数方法,克服了传统适应度函数难以更好地表达粒子性能的缺点。进行仿真的结果表明,该算法在足球机器人路径规划方面具有可行性、有效性和鲁棒性。

**关键词:**粒子群优化算法;路径规划;足球机器人

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)07-0124-04

## Soccer Robot Path Planning Based on PSO

LU Ke-zhong<sup>1</sup>, SUN Jun<sup>2</sup>

(1. Department of Computer Science, Chizhou College, Chizhou 247000, China;

2. School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** A global soccer robot path planning approach based on particle swarm optimization (PSO) is presented for path planning problem in known static environment. In order to adapt the PSO and improve the search efficiency of the algorithm, a new map between starting-point and goal-point is made up of semi-grid and semi-coordinate system. In order to evaluate the particles' performance, a penalty function method is used based on collision detection. Simulation results show that the PSO applied in soccer robot path planning is in terms of feasibility, validity and robustness.

**Key words:** particle swarm optimization; path planning; soccer robot

## 0 引言

1992年, Alan Mackworth 教授在《On Seeing Robots》一文中首次提出机器人足球的概念, 希望以机器人足球比赛的形式, 为人工智能和智能机器人学科的发展提供一个强有力的挑战性课题<sup>[1]</sup>。在足球机器人比赛中, 路径规划作为足球机器人基本动作实现的基础, 路径规划结果的优劣直接影响机器人动作的实时性和准确性。因此, 路径规划是机器人足球比赛的一个重要研究内容, 受到大家的关注。路径规划就是在具有障碍物的工作环境中, 按照某一评价标准, 寻找一条从起始状态到目标状态的最优或近似最优的无碰撞路径<sup>[2]</sup>。

机器人路径规划实质上是一个有约束的优化问题。目前, 各国学者对此问题已经做了大量的研究工作, 这其中包括人工势场法<sup>[3]</sup>、神经网络法<sup>[4,5]</sup>、遗传算法<sup>[6,7]</sup>、蚁群算法<sup>[8,9]</sup>等。粒子群优化算法<sup>[10]</sup>是由美国学者 Kennedy 等人首先提出来的, 它通过模拟鸟群觅食行为进行寻优。粒子群优化算法具有搜索速度快、效率高、算法简单等特点, 目前在函数优化、路径规划等方面有了成功应用。

本研究提出了一种基于粒子群优化算法的足球机器人路径规划方法。首先为适应 PSO 算法的自身特点和提高算法搜索的效率, 在传统栅格法的基础上引入实际坐标系法, 对环境进行建模; 然后为了更好地评价粒子(即解)的性能, 在进行碰撞判定的基础之上, 引入罚函数方法, 评价粒子的性能; 最后利用粒子群优化算法实现足球机器人路径规划并完成了仿真实验。

收稿日期: 2011-12-09; 修回日期: 2012-03-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(61170119); 安徽省自然科学基金项目(KJ2011Z266); 池州学院自然科学基金重点研究项目(2010ZRZ07)

作者简介: 陆克中(1976-), 男, 安徽安庆人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为粒子群优化算法的理论及其应用。

## 1 PSO 算法简介

美国的 Eberhart 博士和 Kennedy 博士通过对鸟群

捕食行为的研究,提出了粒子群优化算法(PSO)。PSO同遗传算法类似,是一种基于叠代的优化工具。但是没有遗传算法用的交叉及变异因子,而是通过粒子在一定的搜索范围内追逐两个极值状态来进行寻优操作。一个是粒子自身在搜索过程中所获得的最优位置(解),这个解称为个体极值 pbest;另一个是整个群体在搜索过程中所获得的最优位置(解),这个解称为全局极值 gbest。与进化算法相比,PSO算法保留了基于种群的全局搜索策略,但由于其所采用的速度-位移搜索模型操作简单,避免了复杂的进化操作,故带来了较快的收敛速度。在找到这两个最优值时,粒子根据如下的公式来更新自己的速度和新的位置:

$$v[] = w * v[] + c_1 * rand() * (pbest[] - present[]) + c_2 * rand() * (gbest[] - present[]) \quad (1)$$

$$present[] = present[] + v[] \quad (2)$$

其中  $v[]$  是粒子的速度,一般要限定在一定范围之内; $w$  是非负常数,称为惯性因子; $present[]$  是当前粒子的位置; $pbest[]$  和  $gbest[]$  如前所定义的两极值; $rand()$  是介于  $[0,1]$  之间的随机数; $c_1$  和  $c_2$  也是非负常数,称为学习因子,也称加速因子,其使粒子具有自我总结和向群体中优秀个体学习的能力,从而向个体极值点和群体极值点靠近。

程序的伪代码如下<sup>[11]</sup>:

```

For each particle
  ___Initialize particle
END
Do
  ___For each particle
    ___Calculate fitness value
    ___If the fitness value is better than the best fitness value
      (pBest) in history
      ___set current value as the new pBest  ___End
  ___Choose the particle with the best fitness value of all the
  particles as the gBest
  ___For each particle
    ___Calculate particle velocity according equation (1)
    ___Update particle position according equation (2)
  ___End
While maximum iterations or minimum error criteria is not at-
tained.
    
```

## 2 基于 PSO 算法足球机器人路径规划方法

### 2.1 环境建模

实现路径规划的前提是对环境进行描述,即对环境进行建模。建模的方法有栅格法、实际坐标系法

等<sup>[12]</sup>。栅格法当规划范围较大时计算量相当大,用实际坐标系法虽然建模简单,但很难和其他成熟的规划方法结合。为了适用文中算法,且减少计算量,文中借鉴栅格法与实际坐标系法的各自优点,采用半栅格半实际坐标系法,即在横向坐标上使用栅格法,而纵向坐标上使用实际坐标系法。同时为了缩小足球机器人的搜索空间,提高搜索速度,这里将搜索范围确定为:当前机器人  $R$ , 目标点  $G$ ,  $R$  到  $G$  的距离为  $L$ , 以  $L$  为长,  $L/2$  为宽,  $RG$  为中分线作一矩形,此矩形即为搜索空间。在矩形空间内的任何人(己方队员和对方队员)都将被看作障碍物。如图 1 所示,其中圆表示障碍物。

为了方便计算,在环境地图中建立了一个新的坐标系  $X'RY'$ , 即以  $RG$  的连线为  $X'$  轴,过  $R$  且与  $X'$  垂直的直线为  $Y'$  轴。对应的坐标变换公式如下:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_R \\ Y - Y_R \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中  $(X, Y)$  和  $(X', Y')$  分别为环境地图中的一点在  $XOY$  和  $X'RY'$  中的坐标,  $(X_R, Y_R)$  为  $R$  点在  $XOY$  中的坐标。

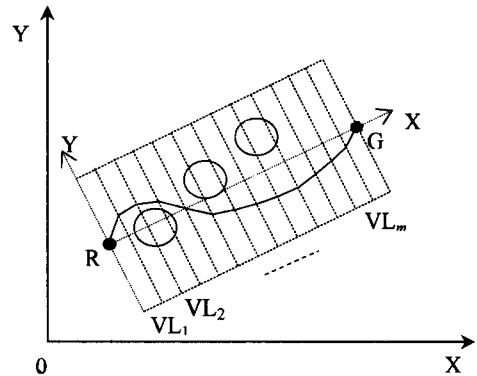


图 1 足球机器人障碍环境描述与坐标变换

### 2.2 粒子编码表示

基于上面的半栅格半实际坐标系方法,在  $X'RY'$  坐标系中,将  $RG$  线段等分  $m+1$  等份,在每个等分点作  $RG$  的垂线,垂线长度为  $RG/2$ , 得到  $VL_1, VL_2, \dots, VL_m$  线段,如图 1 所示。足球机器人从起点  $R$  沿着  $RG$  方向阶段性前进,通过调节  $VL_i (i=1, 2, \dots, m)$  上的坐标点,使得足球机器人能够寻找到一条不穿过任何障碍物(即不与任何障碍物碰撞)的路径,如图 1 中的从  $R$  到  $G$  的一条  $S$  形路径。我们的目标就是找寻这样路径中长度最短的哪一条。因此粒子群算法中的粒子就是由一系列  $VL_i (i=1, 2, \dots, m)$  上的  $Y'$  轴坐标点和起止点  $R$  和  $G$  的纵坐标构成,即  $(0 \ VL_1 \ VL_2 \ \dots \ VL_m \ 0)$ 。这样的编码直接而简洁,且在  $VL_i (i=1, 2, \dots, m)$  上可自由移动,没有栅格法受栅格的限制,有利于粒子在解空间中搜索。

### 2.3 适应度函数的确定

机器人足球路径规划就是在有障碍的环境下,寻找一条由起点到目标点的路径点集合,使其构成的路径安全无碰撞,且长度最短。据此,将适应度函数定义为路径中各路段长度之和。对于无碰撞的路段,用其两端点之间的欧式距离表示;对于有碰撞的路段,则采取罚函数的方法,将其长度乘以一个比较大的惩罚系数,从而降低该路径的评价性能。

对于有碰撞的线段通过如下步骤来判断:

计算障碍物中心点到路径线段所在直线的距离  $d$ ,如果  $d \geq r$  ( $r$  为障碍物的安全半径),则线段为安全线段,如图 2(a) 所示;否则,计算障碍物中心点到路径线段所在直线的垂足,判断垂足是否在线段中间,如果是,如图 2(b) 和 (c) 所示,则判断为有碰撞;否则,计算障碍物中心点到路径线段两端的距离,如果任何一端的距离小于障碍物的安全半径  $r$ ,如图 2(d) 和 (e) 所示,则判断为有碰撞,其它情况被认为安全。

根据以上表述,可将适应度函数定义为:

$$fit = \sum_{i=1}^{m+1} (\lambda_i * f_i) \tag{4}$$

$$\lambda_i = \begin{cases} 1 & \text{当路段 } i \text{ 无碰撞} \\ 1e3 & \text{当路段 } i \text{ 有碰撞} \end{cases}$$

其中  $f_i$  为路段  $i$  两端点之间的欧式距离,  $\lambda_i$  为路段  $i$  对应的惩罚系数。

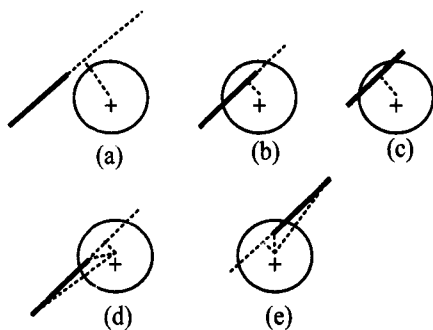


图 2 碰撞示意图

### 2.4 基于 PSO 的足球机器人路径规划

基于 PSO 的足球机器人路径规划如下:

(1) 确定粒子的维数(即  $RG$  线段的等分数  $m+2$ ) 和群体规模  $M$ , 初始化粒子群体,在解空间范围内随机确定每个粒子的初始位置(即路径),每个粒子的初始速度设置为 0。

(2) 根据适应度函数计算每条路径的适应度值  $fit_i$ ,若当前值优于  $P_{i\_best}$ ,则  $P_{i\_best} = fit_i$ ,若在所有个体极值中,有优于  $P_g$  的值,则  $P_g = fit_i$ 。

(3) 根据式(1)更新粒子速度。

(4) 根据式(2)更新粒子位置。

(5)  $t=t+1$ ,返回到步骤(2),直到获得一个预期的

适应值或  $t$  达到设定的最大迭代次数。

### 3 路径规划仿真

仿真环境中,足球机器人起始点  $R(200, 150)$ ,目标点  $G(400, 260)$ ,障碍物坐标分别是:  $(240, 160)$ 、 $(280, 200)$ 、 $(320, 230)$ ,障碍物安全半径为 16。PSO 参数群体规模  $M=20$ ,粒子维数  $\text{dim}=22$ ,学习因子  $c_1 = c_2 = 2$ ,最大迭代次数  $T_{\max}=400$ ,惯性权重  $w$  随迭代次数的增加线性地从 0.9 递减到 0.4。仿真结果如图 3 和图 4 所示。

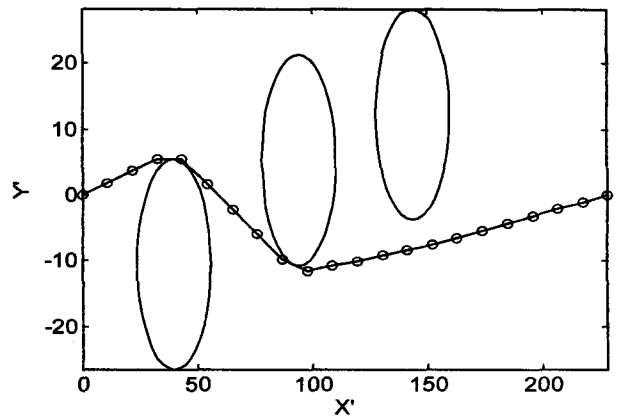


图 3 最优规划路径

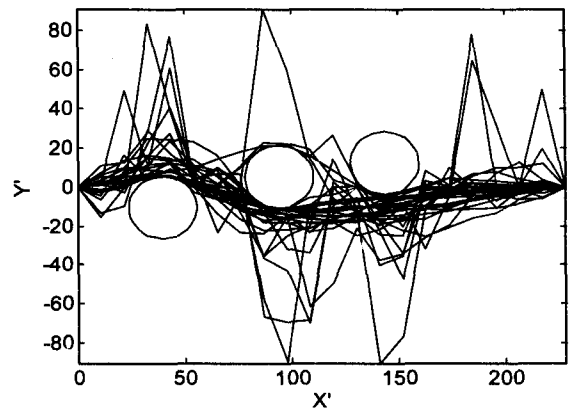


图 4 30 次路径规划仿真轨迹

图 3 是使用 PSO 算法对足球机器人路径规划的最优结果。从图中可以看出,PSO 算法能够有效地绕过障碍物,并且找到最优路径。表现在由每步搜索所连成的线平滑且尽可能接近直线。为了考察算法的鲁棒性,对基于 PSO 算法的足球机器人路径规划进行了 30 次仿真,结果如图 4 所示。从图 4 的路径轨迹来看,沿最优路径的方向的轨迹最多,说明 PSO 算法能够在足球机器人路径规划方面有较好的鲁棒性。这在实际应用中是非常重要的。另外,在 30 次仿真中,所有路径均为有效路径,在图中表现在没有与圆(障碍物)相交的线段(路径),这主要得益于前文所定义的适应度函数,通过对图 2 中 4 种相碰情况进行惩罚,使得足球机器人能够很好地找到可行路径。

## 4 结束语

文中将 PSO 算法应用于足球机器人路径规划,为了适应 PSO 算法的自身特点和提高算法搜索的效率,在传统栅格法的基础上引入实际坐标系法,对环境进行建模,使得 PSO 算法中的粒子在本模型环境下在纵向方面具有较大的自由度,更有利于粒子在较大的范围内搜索最优路径,而不是仅仅局限于单个网格的距离;为了更好地评价粒子(即解)的性能,在对各种不同碰撞情况进行分析的基础之上,引入了罚函数方法,克服了传统适应度函数难以更好地表达粒子性能的缺点,最终使得通过此适应度函数有利于保障所得解的可行性。仿真实验表明,该算法在足球机器人路径规划方面具有可行性、有效性和鲁棒性。

足球机器人路径规划是一个复杂问题,文中仅对环境因素已知情况给出了一种全局路径搜索方法,对于环境因素未知或部分已知情况下,如何作更好的路径搜索,还有待于进一步研究。

### 参考文献:

- [1] Mackworth A K. On Seeing robot, computer vision: system, theory and application [M]. Singapore: World Scientific Press, 1993: 1-13.
- [2] 柳长安, 鄢小虎, 刘春阳, 等. 基于改进蚁群算法的机器人动态路径规划方法[J]. 电子学报, 2009, 39(5): 1220

(上接第 123 页)

```
return 0;
```

```
}
```

## 4 结束语

文中基于串口测试经验,为了解决串口进行测试过程中,采集数据时,在程序收到串口信号前系统无响应的问题,利用 LabWindows/CVI 多线程编程思想,实现了串口测试程序的编写,并在实际应用中测试使用。经验证,很好地解决了超时无响应现象,提高了程序的可操作性和易用性,有效提高了串口测试效率。

### 参考文献:

- [1] 宋宇峰. LabWindows/CVI 逐步深入与开发实例[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 高亚奎,支超有. 多线程虚拟仪器测试软件的开发[J]. 计算机测量与控制,2003,11(12):986-987.
- [3] 曹卫彬. C/C++ 串口通信典型应用实例编程实践[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [4] 刘春雷,邹云涛. Dos 与 Windows 环境之间的 RS232 串行通讯的研究[J]. 微型电脑应用,2007,23(9):34-36.
- [5] 史君成,张淑伟,律淑珍. LabWindows 虚拟仪器设计[M].

-1224.

- [3] Bennet D J, McInnes C R. Distributed control of multi-robot systems using bifurcating potential fields [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2010, 58(3): 256-264.
  - [4] 范莉丽,王奇志. 改进的生物激励神经网络的机器人路径规划[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(4): 19-21.
  - [5] 邓万,郑庆,陈琳,等. 神经网络极速学习方法研究[J]. 计算机学报, 2010, 33(2): 279-287.
  - [6] 张荣松,包家汉. 基于改进遗传算法的机器人路径规划[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(7): 20-23.
  - [7] 刘玲,王耀南,况菲,等. 基于神经网络和遗传算法的机器人路径规划[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(2): 264-268.
  - [8] 吕凌,曾碧. 基于评估和分工合作并行蚁群机器人路径规划[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(9): 10-13.
  - [9] 胡军国,祁亨年,董峰,等. 一种改进蚁群算法研究和旅游景区路径规划问题求解[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(5): 1647-1650.
  - [10] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [C]// IEEE International Conference on Neural Networks. Perth, Australia; [s. n.], 1995: 1942-1948.
  - [11] 百度百科. 粒子群算法 [EB/OL]. 2012-01-08. <http://baike.baidu.com/view/1531379.htm>.
  - [12] 段俊花,李孝安. 基于改进遗传算法的机器人路径规划[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(1): 70-76.
- 
- [6] 杨东升,王高峰. 多线程技术在虚拟仪器开发软件 LabWindows/CVI 中的实现[J]. 电测与仪表, 2005(3): 39-41.
  - [7] 王文磊,徐汀荣. 多线程编程技术实现经典进程同步问题[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(3): 110-115.
  - [8] 王建新. LabWindows/CVI 虚拟仪器测试技术及工程应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2011.
  - [9] 任晓军,周煜,奚文骏,等. 基于 LabWindows/CVI 的多线程测控软件设计技术[J]. 电子工程师, 2006, 32(1): 5-8.
  - [10] Lei Lei, Gao Ying, Liu Weiyuan, et al. Design and Realization of Modular Interface for the Master Control Computer in Artillery Training Simulator [C]//2010 Second International Workshop on Education Technology and Computer Science. [s. l.]: [s. n.], 2010: 546-550.
  - [11] Lin Xizhou, Cheng En, Yuan Fei. A data acquisition system for underwater acoustic communication system [C]//2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering. [s. l.]: [s. n.], 2010: 181-184.
  - [12] Carver R H, Lei J. A Stateful Approach to Testing Monitors in Multithreaded Programs [C]//2010 IEEE 12th International Symposium on High Assurance Systems Engineering. [s. l.]: [s. n.], 2010: 54-63.