

基于粒子群优化算法的小型足球机器人路径规划

官金超, 李晓明*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘要:为了解决足球机器人无法躲避动态障碍物和容易陷入局部极值的问题,在深入研究粒子群优化算法的基础上,提出了采用栅格法与粒子群优化算法相结合的路径规划算法。首先采用栅格法对小型足球机器人工作环境构造模型,再利用改进的粒子群优化算法进行最优路径搜索。该算法实现简单,收敛速度快,不易陷入局部极值,不仅能够满足足球机器人实时动态的路径规划要求,而且能满足不同环境下的路径规划要求。仿真实验表明,该方法可以很好地应用于足球机器人的路径规划中。

关键词:小型足球机器人;路径规划;栅格法;粒子群优化算法

中图分类号:TH39;TP242

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2010)12-0116-05

Path planning of small-size soccer robot based on particle swarm optimization

GONG Jin-chao, LI Xiao-ming

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problems that soccer robot could not avoid dynamic obstacles and easily get into local optimal value in the path planning, an algorithm which combined grid theory with particle swarm optimization (PSO) was proposed on the base of deep research about the PSO. Firstly, the working space model of the small-size soccer robot was established by using the grid theory. Then, the optimal path was found out by improving the PSO. The method has simple realization, a rapid convergence; it can avoid getting into local optimization; it can meet the real-time and dynamic requirements of path planning; it can be applied to different environments. The simulation result shows that the algorithm can be applied well in path planning of soccer robot.

Key words: small-size soccer robot; path planning; grid model; particle swarm optimization (PSO)

0 引 言

机器人的诞生是近几十年来人类科学取得的重大成就之一,机器人学的快速发展给人类社会带来了巨大的变化。近年来,以高新技术对抗为主要特征、集科技性与娱乐性于一身的足球机器人比赛越来越受到人们的关注^[1]。而路径规划作为足球机器人基本动作实现的基础,它的优劣直接影响机器人动作的实时性和准确性。因此,路径规划是足球机器人控制的关键所在。

最优路径规划问题可以表述为依据某个或某些优

化准则(如工作代价最小、行走路线最短、行走时间最少等),在其工作空间中找到一条从起始点到目标点、能避开障碍物的最优路径^[2]。移动机器人路径规划的发展趋势^[3]为:①基于反应式行为规划与基于慎思行为规划的结合;②全局路径规划与局部路径规划的结合;③传统路径规划方法与智能路径规划方法的结合。

本研究首先采用环境建模简单、算法容易实现的栅格法^[4]建立工作环境模型,再对粒子群优化算法^[5-6]的初始种群和适应度函数进行改进,以解决局部极值和动态避障等问题。

1 环境建模

本研究采用浙江大学研发的 F-180 小型足球机器人作为研究对象,对工作空间作如下假设:

(1) 机器人在一个 6 110 mm × 4 700 mm 的二维空间中活动;(2) 机器人的工作空间中分布着有限个障碍物(包括敌我双方机器人小车),且位置和大小都已知;(3) 为了得到无碰撞、安全的机器人路径,把机器人简化为一个质点,同时对障碍物进行膨胀,由于障碍物是动态运动的,且最大移动速度为 10 m/s,每周期从计算机得到数据包的时间为 20 ms,因此每周期的最大移动位移为 200 mm[a4]。膨胀后的障碍物尺寸[a5] = 障碍物的实际尺寸 + 足球机器人的半径 + 障碍物的最大移动速度 × 障碍物每周期从计算机得到数据包的时间。仿真实验中采用的数据为:膨胀后的障碍物尺寸 = 180 mm + 90 mm + 10 m/s × 20 ms = 470 mm。

栅格法[7]以基本元素为最小栅格粒度,将地图进行栅格划分。本课题所建立的工作空间模型长度为 6 110 mm,宽度为 4 700 mm,最小栅格的尺度(长,宽)为 470 mm。总的栅格数为 (6 110/470) × (4 700/470) = 130。对于 5 × 5 的足球机器人比赛,共有障碍物 9 个,工作环境如图 1 所示。有障碍物的黑色区域对应的值为 1 即障碍物区域(障碍物的一部分在栅格内时也将该栅格定义为障碍物栅格);没有障碍物的白色区域对应的值为 0,即自由区域。本研究采用序号法[8]对栅格进行相应的编号,如图 2 所示。机器人行走时,以当前栅格的中心按逆时针方向从“1”开始搜索,逐步遍历 8 个方向,如图 3 所示。按照栅格的编号规律,可以计算相邻 8 个栅格的序号,计算公式如下式所示:

$$\text{next_orient}[\text{city}] = \text{city} + \{-12, 1, 14, 13, 12, -1, -14, -13\} [\text{a6}] \quad (1)$$

其中 next_orient[city] 为一维数组,city 为每个栅格的序号值。边界栅格中有些是不可达的,如右边界栅格 13,其下一个可能方位为:

next_orient[13] = 13 + {13, 12, -1}, 即代表栅格只能向“4”、“5”、“6”3 个方向搜索。

栅格的序号和坐标可以相互转换,序号为 i 的栅格坐标如下式所示:

$$\begin{aligned} x_i &= ((i - 1) \bmod 13) + 1 \\ y_i &= (\text{int})((i - 1) / 13) + 1 \end{aligned} \quad (2)$$

其中,mod 为求余运算,int 为舍余取整运算[9]。

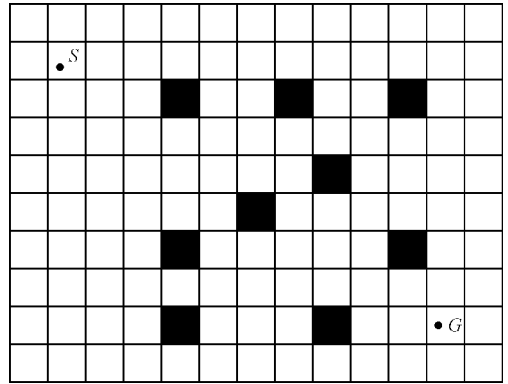


图 1 足球机器人的工作环境模型

118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

图 2 栅格法编码的序号图

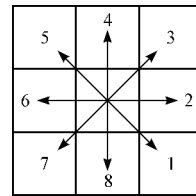


图 2 机器人的八个搜索方向示意图

由于对障碍物进行了膨胀,因而在每个数据包发送的周期内可以假设障碍物是静态的,本研究中路径规划每次迭代都可以简化为:在静态环境下寻找从初始位置 S 到目标位置 G 的无碰撞路径。

2 改进的粒子群优化算法

2.1 粒子群优化算法的基本原理

粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization)是由 Kennedy 和 Eberhart 在 1995 年提出的一种群体智能进化算法,来源于对鸟类觅食行为的模拟,通过鸟之间的集体协作使群体达到目的。PSO 算法先生成初始种群,即在可行解空间中随机初始化一群粒子,每个粒子都是优化问题的一个可行解,并由目标函数为之确定一个适应值(fitness value)。每个粒子在解空间中运动,并由速度决定其方向和距离。粒子将追随当前的最优粒子而动,并经逐代搜索,最后得到最优解。在

每一代中,粒子将跟踪两个极值,一个是粒子本身迄今找到的最优解 $pbest$,另一个是全种群迄今找到的最优解 $gbest$ 。粒子的速度和位置变化:

$$v_i(t+1) = w \times v_i(t) + c_1 \times r_1 \times (pbest_i(t) - x_i(t)) + c_2 \times r_2 \times (gbest(t) - x_i(t)) \quad (3)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad 1 \leq i \leq N \quad (4)$$

式中 w —惯性权重,通常为线性递减的函数, w 较大时增加全局搜索能力, w 较小时增加局部搜索能力; c_1, c_2 —正常数,称为加速因子,通常选定为 2, c_1 调节粒子向自身最好位置飞行的步长, c_2 调节粒子向全局最好位置飞行的步长; r_1, r_2 — $[0, 1]$ 之间的随机数。

为了减少在进化过程中,粒子离开探索空间的可能性,位置变化范围限定在 $[x_{\min}, x_{\max}]$ 内,速度变化范围限定在 $[-v_{\max}, v_{\max}]$ 内(即在迭代中若 x_i 和 v_i 超出了边界值,将之设为边界值)。粒子群初始位置和速度随机产生,然后按式(3)、(4)进行迭代,直至找到满意的解^[10]。

2.2 改进粒子群优化算法

机器人进行路径规划时要满足以下条件:①该路径应尽可能短;②该路径所用时间应尽可能少;③该路径应与障碍物保持一定的安全距离;④该路径应尽可能平滑。路径长度是指起点到终点的距离;安全度是指路径的安全程度,它可以由路径与障碍物之间的距离大小来表示;平滑度指的是路径的平滑程度,即路径段之间偏转角度的大小。多数文献中只采用路径长度作为粒子群算法的适应度函数,不足之处在于时间上不能满足比赛环境实时性和高度动态性的要求,理想的路径规划曲线应为时间最短的平滑路径。

2.2.1 改进 PSO 的初始种群和迭代公式

标准粒子群算法中,先生成初始种群,通过跟踪两个极值进行迭代最终找到最优解。该算法容易陷入局部极值。同时,由于迭代后的速度呈线性递增趋势,到后期无法进行较细的局部搜索,无法达到完全避碰的路径规划要求。为了解决以上问题,本研究对初始种群和迭代公式进行了改进。先生成初始种群,并将足球机器人的起始点作为种群中的一个粒子进行迭代,通过计算适应度函数找到全局最优极值 $gbest$;对起始点按迭代公式进行迭代,以新的位置作为起始点,在起始点与变换的终点之间重新随机初始化种群;计算种群的适应度函数找到全局最优极值 $gbest$,对起始点进行迭代;达到足够好的适应值后停止迭代,最终到达终点。改进后的迭代公式如下:

$$v_i(t+1) = w \times v_i(t) + c_2 \times r_2 \times (gbest(t) - x_i(t)) \times \sigma \quad (5)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad 1 \leq i \leq N \quad (6)$$

式中 σ —位移改变变量的权值,通过 σ 来调节每次迭代位移的大小,仿真实验验证了 σ 为 0.1 时,该算法可以较细的进行局部路径搜索。

2.2.2 构建适应度函数

适应度函数是粒子群优化算法的一个重要参数,它的选择有很多种。本课题在以路径长度作为适应度函数^[11]的基础上加入安全度、平滑度,对所有的参数进行加权平均,以满足不同环境对路径规划的要求。

(1) 规划的路径应尽可能短,路径长度可以用下式表示:

$$f_1 = \sqrt{(x_N - x_i)^2 + (y_N - y_i)^2} \quad (7)$$

式中 f_1 —终点到每个种群粒子之间的直线距离; (x_N, y_N) —终点坐标, (x_i, y_i) —种群粒子中一个粒子的坐标, $i = 1, \dots, N - 1$ 。

(2) 当机器人与障碍物相碰时,在机器人的路径长度上加上一个惩罚函数,相碰的障碍越多,施加的惩罚越大,使得此路径生成的可能越小。惩罚函数项为:

$$f_2 = \sum_{k=1}^M Q \quad (8)$$

式中 M —种群粒子到起始点与种群粒子到终点的障碍物的个数之和; Q —给定的一个较大常数项。

(3) 改变机器人的运动方向通常会耗费很多的时间,为了使移动机器人完成任务所耗费的时间最短,本研究引入路径平滑度,如下式所示:

$$f_3 = num1 + 2 \times num2 \quad (9)$$

式中 $num1$ —该粒子所走路径中机器人需要转 45 度的次数; $num2$ —该粒子所走路径中机器人需要转 90 度的次数。

综合 f_1, f_2, f_3 可得适应度函数:

$$F = \alpha \cdot f_1 + \beta \cdot f_2 + \gamma \cdot f_3 [a10] \quad (10)$$

式中 α, β, γ — f_1, f_2, f_3 的加权因子,为大于等于 0 的任意实数,通过调整 α, β, γ 可以调节 f_1, f_2, f_3 在路径规划中的比重。增大 α 表示路径规划侧重于路径更短;增大 β 表示路径规划侧重于提高安全性;增大 γ 表示路径规划侧重于提高平滑度。当 $\alpha = 1, \beta = 0, \gamma = 0$ 时,等价于仅以路径长度为适应度函数的常规数学模型。

2.2.3 基于改进 PSO 的路径规划实现过程

改进粒子群优化算法的程序流程如图 4 所示:

(1) 初始化粒子群体,在解空间范围内随机设定每个粒子的初始位置,随机生成第一个粒子的速度,并将初始起点的位置赋值给第一个粒子,初始终点的位置赋值给最后一个粒子;

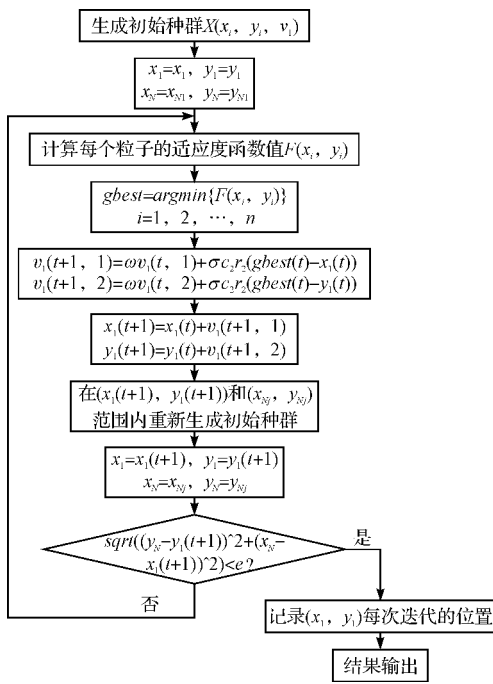


图 4 改进粒子群优化算法的程序流程图

- (2) 计算每个粒子的适应度函数,选取适应值最小的粒子位置为 $gbest$;
- (3) 根据公式(5)、式(6)对第一个粒子的速度和位置进行迭代;
- (4) 将迭代后的粒子位置作为新的起始点,在起始点和动态变换后的终点范围内重新随机初始化粒子群体,将更新后起始点的位置和速度赋值给第一个粒子,将变换后的终点位置赋值给最后一个粒子;
- (5) 如未达到结束条件(通常为足够好的适应值),则返回(2),否则停止。

3 仿真

较大的惯性权重可以加强 PSO 的全局搜索能力,较小的惯性权重可以加强 PSO 局部搜索能力,本研究选择 $w = \exp(-20 \times (r/r_{max})^{10})$,其中 r 为当前迭代次数。 r_{max} 为最大迭代次数。仿真试验中 $r_{max} = 200, c_2 = 2$,种群规模 $N = 50$ 。在 Matlab 7.0 上仿真结果如图 5、图 6 所示。

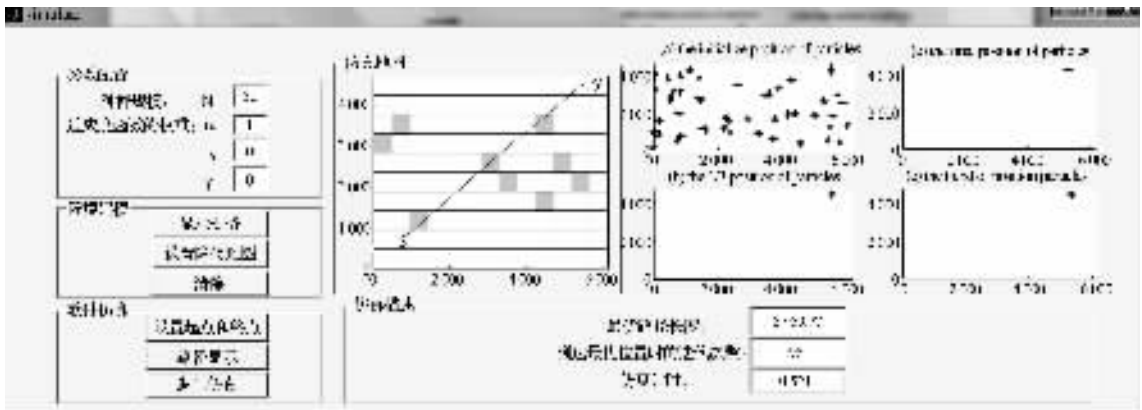


图 5 仅以路径长度作为适应度函数的路径规划

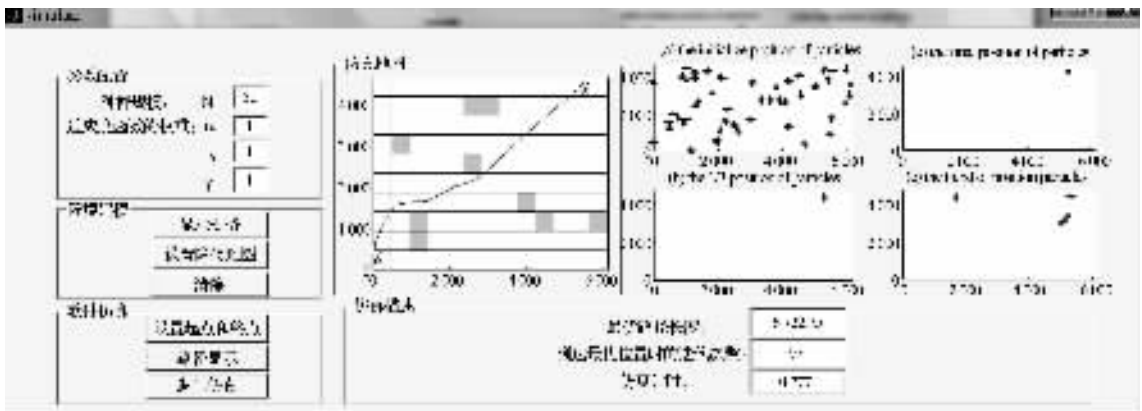


图 6 适应度函数中加入安全度和平滑度的路径规划

仿真实验表明该算法可规划出一条平滑无碰的路径,由于每次迭代都重新初始化粒子种群,解决了规划

路径易陷入局部极值的问题且能躲避动态障碍物。证明该算法可以应用于足球机器人的路径规划中。

4 结束语

静态环境下的路径规划技术已经取得了丰硕成果,但是满足动态环境下的路径规划算法还处于进一步完善阶段。本研究首先采用栅格法对环境进行全局建模,再利用改进适应度函数的粒子群算法规划出一条无碰、平滑的路径,该算法解决了粒子群算法容易陷入局部极值的问题,并且可以通过改变适应度函数权重,满足不同环境下的路径规划要求,仿真实验证明了该算法的可行性和有效性。

参考文献 (References):

- [1] 杨林权. 机器人足球竞赛与设计[M]. 1版. 武汉:华中科技大学出版社,2009.
- [2] 李 磊,叶 涛,谭 民,等. 移动机器人技术研究现状与未来[J]. 机器人,2002,23(5):475-480.
- [3] 梁毓明,徐立鸿. 移动机器人路径规划技术的研究现状与发展趋势[J]. 机电一体化,2009,(3):35-38.
- [4] 马兆青,袁曾任. 基于栅格方法的移动机器人实时导航避障[J]. 机器人,1996,18(6):344-348.
- [5] LIU Yu-shu, DENG Hong-bin, XU Yuan-qing. Obstacle-Avoidance Path Planning for Soccer Robots Using Particle

Swarm Optimization[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). Kunming: [s. n.],2006:1233-1238.

- [6] ELLIPS M, DAVOUD S. A Multi-Objective PSO-based Algorithm for Robot Path Planning[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology. Chile: [s. n.],2010:465-470.
- [7] METEA M B. Route planning for intelligent autonomous land vehicles using hierarchical terrain representation[C]//Proc. of IEEE Int Conf. on Robotics and Automation. Raleigh: [s. n.],1987:1947-1952.
- [8] 于红斌,李孝安. 基于栅格法的机器人快速路径规划[J]. 微电子学与计算机,2005,22(6):98-100.
- [9] 国海涛,朱庆保,徐守江. 基于栅格法的机器人路径规划快速搜索随机树算法[J]. 南京师范大学学报,2007,7(2):58-61.
- [10] KENNEDY J, EBETHART R C. Particle Swam Optimization[C]//Proceedings of IEEE international Conference on Neural Networks. Perth: [s. n.],1995:1942-1948.
- [11] 孙 波,陈卫东,席裕庚. 基于粒子群优化算法的移动机器人全局路径规划[J]. 控制与决策,2005,20(9):1052-1055.

[编辑:张 翔]

(上接第 109 页)

偿观测器的无位置和速度传感器的控制方法,并专门对如何获得转子初始位置提出了 VVPM 法,并验证了可行性。进一步,利用电机中易测得的电压和电流信号,通过对磁通和电流的估计和校正,获得电机运行状态下转子位置和速度信号。实验研究表明,该方法能够获得电机较平稳的启动,并能准确地估计转子角度。

参考文献 (References):

- [1] 郑 敏,杨成忠. Fuzzy-PID 多模态控制器在永磁同步电机中的应用[J]. 机电工程,2009,26(4):42-46.
- [2] 张鹏飞,杜 建. 基于 DSP 的永磁同步电动机矢量控制系统[J]. 机电工程,2009,26(5):82-85.
- [3] 王 宏. 永磁同步电动机直接转矩控制系统的仿真研究[J]. 机电工程,2006,23(4):41-43.
- [4] WU R, SLEMON G R. A permanent magnet motor drive without a shaft sensor[J]. **IEEE Trans. Ind. Application**,1991,27(9-10):1005-1011.
- [5] KIM J S, SUL S K. A high performance PMSM drive without rotational position sensors using reduced order observer [C]//Proc. IEEE-IAS Annual Meeting,1995:75-82.
- [6] KULKARNI A B, ESHANI M. A novel position sensor elim-

ination technique for the interior permanent magnet synchronous motor drive [J]. **IEEE Transactions IA**,1992,28(1):144-150.

- [7] AIHARA T, TOBA A, YANASE T, et al. Sensorless torque control of salient-pole synchronous motor at zero-speed operation[J]. **IEEE Trans Power Electron.**,1999,14(1):202-208.
- [8] LORENZ R D. Future trends in power electronic control of drives: robust, zero speed sensorless control and new standard approaches for field orientation[C]//Proc. IPEC Yokohama,1995:28-34.
- [9] CORLEY M J, LORENA R D. Rotor position and velocity estimation for a permanent magnet synchronous machine at standstill and high speeds[J]. **IEEE Trans, on Ind. Appl.**,1988,34(4):784-789.
- [10] SCHMIDT P B, GASPERI M L, RAY G, et al. Initial rotor angle detection of a non-salient pole permanent magnet synchronous machine[C]//IEEE Industry Applications Society Annual Meeting New Orleans, Louisiana,1997:5-9.
- [11] KULKANI A. A novel position sensor elimination technique for interior PMSM [J]. **IEEE Trans. Indus.**,1922,28(1):144-150.

[编辑:张 翔]