

基于新的粒子群算法的虚拟角色路径规划仿真系统

周 静^{1*}, 付绪昌²

(1. 江汉大学 数学与计算机科学学院, 武汉 430056; 2. 鸿富锦精密工业有限公司 制造执行系统开发课, 武汉 430204)

(* 通信作者电子邮箱 22986026@qq.com)

摘 要:针对标准粒子群算法(PSO)中粒子在避障时易陷入局部最优而无法继续行走的问题,提出一种将局部最优粒子的位置后退至其历史最优位置,在此位置进行8-邻域局部搜索最优可行解的方法。该方法找到离目标最近的非障碍点,让粒子行走至该位置;同时找出当代群体的全局最优位置,并将各粒子位置设定为此位置,继续迭代。通过在栅格地图中的避障实验发现,传统算法粒子遇到障碍物时会陷入局部最优而无法行走,而改进后的算法粒子能够成功避开障碍到达终点。将改进的算法引入三维视景仿真系统,仿真结果表明在大地图、多障碍场景下粒子陷入局部最优而导致寻路失败的概率高达50%;通过给障碍物添加圆形坡度对算法进一步改进,粒子成功规划出路径的概率提高至83%。实验结果表明改进后算法搜索能力增强,能在复杂场景中有效地规划出路径。

关键词:粒子群优化算法;8-邻域;路径规划;三维视景仿真;障碍物坡度

中图分类号: TP18; TP391.9 **文献标志码:** A

New particle swarm optimization algorithm for path planning simulation of virtual character

ZHOU Jing^{1*}, FU Xuchang²

(1. School of Mathematics and Computer Sciences, Jianghan University, Wuhan Hubei 430056, China;

2. Department of Manufacturing Execution System Development, Hong Fujin Precision Industry Company Limited, Wuhan Hubei 430204, China)

Abstract: For the problem of that the particle easily falls into local optimum when avoiding obstacles and cannot walk forward, the method of retreating the position of the local optimal particle to its historical best position and searching the feasible and optimal location in the 8-neighborhood of this position was proposed. The position which is nearest to the target and is not a barrier could be found by this method, then the particle was moved to it. Meanwhile, the global optimal position of current generation particle swarm could be found, and the location of each particle was set for this position to continue iteration. In the experiments for obstacle avoidance in grid map, the fact was found that when encountering obstacles, the particles fell into local optimum by the traditional methods, but particles could successfully avoid obstacles and arrive the end by using the improved algorithm. The improved algorithm was introduced into the 3D visual simulation system, in large map with many obstacles scenarios, the probability of falling into local optimum of the particle was reached to 50% which resulted in routing failure. After adding a circular slope to the obstacles for the further improvement of the algorithm, the probability of successful path-finding of the particle was increased to 83%. The experimental results show that the search ability of the improved algorithm is increased and it can effectively plan path in a complex scene.

Key words: Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm; 8-neighborhood; path planning; 3D scene simulation; obstacle slope

0 引言

国内外对于粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法的研究已经取得了不少成果和经验,如:文献[1]基于粒子群优化重新定位方法,提出了一种小型移动机器人的新定位方法,适用于地图匹配误差较大、配备有限数量传感器的机器人;文献[2]中基于粒子群优化聚类模型提出了模糊C-均值聚类算法;文献[3]中提出了在印刷电路板的元件贴装检查中的粒子群优化方法,搜索过程中使用加速物种的粒子群优化方法和遗传算法的方式;文献[4]针对粒子群算法在解空间盲目搜索的缺点,提出一种基于时变适应度函数的改进粒子群路径规划算法,该算法在迭代过程中可以利用权

值的改变合理地调整适应度函数。而本文针对基本粒子群算法容易陷入局部最优解、个体搜索能力不强等缺陷,结合A*算法的精确搜索思想,在遇到障碍物时后退一步,然后依次寻找其8-邻域可行的最优位置作为下一步的最优解位置,并采用设定每代群体的初始位置为上代种群最优解的思想提出了改进后的粒子群算法。

1 标准 PSO 算法缺陷的证明实验

标准 PSO(Standard PSO, SPSO)的模型与原始 PSO 模型的不同之处在于通过一个惯性权重 w 来协调 PSO 算法的全局和局部寻优能力^[5]。其进化过程为:

$$v_{ij}(t+1) = wv_{ij}(t) + c_1r_1(t)(p_{ij}(t) - x_{ij}(t)) +$$

收稿日期:2014-03-19;修回日期:2014-04-20。 基金项目:武汉市青年科技晨光计划项目(2013071004010472)。

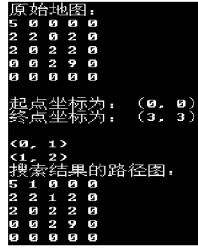
作者简介:周静(1981-),女,湖北武汉人,讲师,博士,主要研究方向:智能算法与仿真; 付绪昌(1990-),男,湖北武汉人,软件设计师,主要研究方向:系统集成。

$$c_2 r_2(t) (p_{gi}(t) - x_{ij}(t)) \quad (1)$$

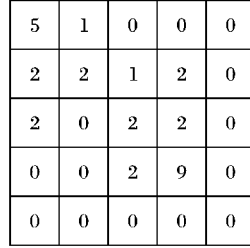
$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (2)$$

通过观察,式(1)中惯性权重 w 表示在多大程度上保留原来的速度。

为说明算法缺陷,用栅格法^[6]模拟二维平面模型,信息编码如下:“2”为障碍物栅格,“0”为自由栅格,“1”为粒子路径,“5”为起点,“9”为终点。选择大小为 5×5 的栅格地图,其障碍物“2”和终点“9”的位置设定及仿真示意图如图1所示。



(a) 实验效果图



(b) 示意图

图1 PSO算法缺陷的仿真结果图及示意图

由图1可见,当粒子的路径点“1”走到(1,2)栅格位置时,应该行走至适应度值最小的(2,2)栅格,而它却是障碍点;而下次迭代时,有可能落入(2,1)、(0,2)和(0,3)这三个栅格位置,但(2,1)与当前位置(1,2)栅格相等,其他两个栅格(0,2)和(0,3)适应度值均大于当前位置,它们三个位置均不优于当前位置,因此该粒子陷入(1,2)这个死角停滞不前,但是很明显,在这条已走的路径上是可以寻求到可解路径的。

2 改进的粒子群算法设计与分析

2.1 适应度函数设计

适应度函数是粒子群优化算法的一个重要参数,可以在以路径长度作为适应度函数的基础上加入安全度等因素,对参数进行加权平均,以满足不同环境路径规划要求。

1)在实践仿真中,规划的路径应尽可能短,路径长度大小的计算可以用下式表示:

$$f = \sqrt{(x_N - x_i)^2 + (y_N - y_i)^2} \quad (3)$$

其中: f 表示终点到每个种群粒子之间的直线距离; (x_N, y_N) 表示终点坐标; (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, N-1$)表示粒子群中一个粒子的坐标。

2)粒子群最优解的求解问题即为约束优化问题,可表示如下:

$$\min f(x)$$

$$\text{s.t. } g_i(x)$$

可以通过引入罚函数将上述问题转换为无约束优化问题,即

$$F(x) = f(x) + H(x)h(k)$$

其中: $f(x)$ 为约束化目标函数; $h(k)$ 为动态调整的罚值, k 为算法的迭代次数; $H(x)$ 为罚因子,可定义为

$$H(x) = \sum_{i=1}^m \mu(\varphi_i(x)) \varphi_i(x)^{\delta(\varphi_i(x))} \quad (4)$$

其中 $\varphi_i(x) = \max\{0, g_i(x)\}$ 为约束函数。当粒子在空间移动时,倘若碰到障碍物,那么在该路径长度加上惩罚函数项,路径上碰撞的障碍物数量越大,施加的惩罚值也相应地呈线性增长,致使此路径被淘汰的概率增大。惩罚函数项为:

$$h = \sum_{j=1}^M Q \quad (5)$$

其中: M 表示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 表示给定的一个较大常数项。

2.2 粒子群算法的改进

改进的粒子群算法步骤如下:

步骤1 初始化粒子群体。随机设定每个粒子的初始位置,随机生成各个粒子的速度。

步骤2 根据式(1)、(2)对各个粒子的速度和位置进行迭代更新,计算出当代粒子群中每个粒子的适应度函数,若发现某个粒子的当前位置的适应度值比上一代该粒子所处位置的适应度值小,则替代之,并将当前位置保存在变量 $pbest_pos$ 中;再找出这一代种群中适应度最小值记录在 $gbest$,其所对应的位置即为最优位置 $gbest_pos$ 。

步骤3 若当前这一代的粒子群最优粒子 $gbest_pos$ 的适应度值小于历史全局最优粒子 $gbest_pos_global$ 的适应度值,则取代之,否则不变。

步骤4 将当前粒子群所有粒子的位置设定为全局最优位置 $gbest_pos_global$ 。

步骤5 未达到结束条件,则返回步骤2,否则停止。

改进的算法流程如图2。

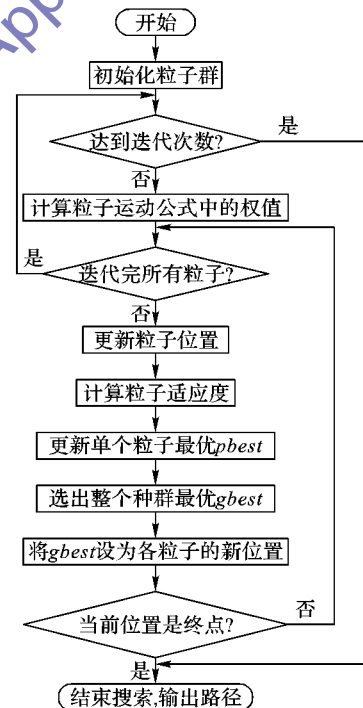


图2 改进的粒子群算法算法流程

该算法主要有两点改进之处:

1)在步骤4中,每次迭代时将当前粒子群所有粒子的初始位置设定为全局最优解 $gbest_pos_global$ 的位置,提高了算法的收敛速度;

2)若第 i 个粒子当前的适应度值 $fitness \leq pbest$,则将 $pbest$ 更新为当前适应度值 $fitness$;同理,倘若第 i 个粒子的 $pbest \leq gbest$,这时便将 $gbest$ 更新为 $pbest$ 。

在步骤2中,当单个粒子在更新其下一步位置时,若发现下一步路径,即 $pbest$ 为最小所对应的位置正好是障碍区,此时粒子将会驻留在此最优位置止步不前,即陷入局部最优解

中(如图1所示)。本文将陷入局部最优解的粒子后退至该粒子的历史最优位置,然后在此位置开始进行8-邻域方向的局部精确搜索,如图3所示。一旦在某个方向找到可行且离终点最近的点(在地图上标记为1),粒子行走至该位置。

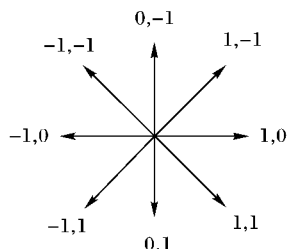
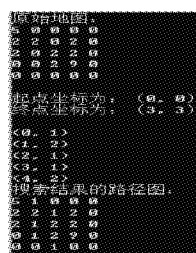


图3 粒子沿8-邻域方向局部精确搜索

改进的 PSO 算法分析以图1为例,当粒子行走至路径点(1,2)时,发现其下一步(2,2)处是障碍,则回退一步至(1,2),搜索以(1,2)为中心的其他8个邻域(中心点(1,2)不参与比较),即可得到非障碍且适应度最小的点(2,1)。其寻路结果如图4所示,可见改进的粒子群算法成功找到终点,很好地克服了标准 PSO 算法的缺陷。



(a) 实验效果图

5	1	0	0	0
2	2	1	2	0
2	1	2	2	0
0	1	2	9	0
0	0	1	0	0

(b) 示意图

图4 改进后算法寻路成功的效果及示意图

3 新粒子群算法三维路径规划仿真

本文将改进的粒子群算法用于三维视景仿真系统^[7-10]中,高效地实现了在有23个障碍物的大地图场景下有效避障的路径规划仿真系统。该仿真系统的左边通道为俯视通道,用于观测虚拟角色寻路过程及规划出的路径;右上通道为主视通道,观察者位置设在小车尾部,右下通道为目标通道。

3.1 Vega Prime(VP)地图编码

地图编码在程序中主要实现步骤如下:

- 1) 定义点坐标结构体;
- 2) 地图编码初始化,即无障碍图;
- 3) 障碍坐标初始化,在定义地图矩阵中赋值。

3.2 PSO 算法与 VP 程序的接口设计

编写好的新的 PSO 算法只作为一个头文件让主程序包含并调用,通过接口函数把地图的起点、终点坐标、所有障碍物坐标传入,这样可在 VP-MFC 程序中引入 PSO 算法,实现路径规划仿真系统。其中 VP 程序提供给 PSO 算法的参数是地图大小(长、宽)及路径的起点和终点,障碍物坐标用链表进行存储;而算法返回给 VP 程序的参数是路径点列表 list <point>,VP 程序根据该路径列表中每一个点的坐标值规划出虚拟角色的路径。

3.3 VP 路径规划仿真系统设计

该系统可以实现用鼠标点击俯视通道自定义终点的多次寻路。通过点击屏幕视角的任意位置,粒子群就开始寻路,待

寻路算法运行完毕就开始行走,到达目标点后自动停止下来,等待用户指定下一次任务。

3.3.1 多障碍、大地图环境中算法改进

粒子群在大地图、障碍物较多的仿真场景中,无法在障碍物的凹角里回退出来,没有一个坡度(弧度)让粒子群向地势低的方向行进就导致了陷入局部最优。如果将障碍物视为一个圆形(或椭圆),则无论粒子群在障碍物的哪一个方向(360°视角范围内)都产生了一个坡度,这样粒子群在寻路时就不会向着障碍物趋近,因为在距离障碍物还有段微小距离时,已经“感知”到了障碍物的威胁^[11-12]。填充的具体做法如下:将黑色障碍物坐标进行扩展,已知 VP 中的障碍物矩阵对应顶角两个坐标点,通过这两个坐标点可以计算出对角线的中心坐标即圆心(centerX, centerY)和对角线长度的一半值即为半径 R,然后进行逐个像素点地填充整个圆,如图5所示。

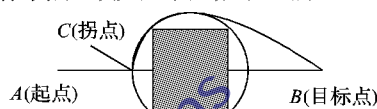


图5 障碍物增加坡度

图5中,黑色矩形为障碍物,恰好在 A、B 两点之间,且无坡度。坡度圆是由障碍物扩展出来的,这样粒子从起点 A 寻路时,会从 C 点开始绕过障碍物从而向着目标点行进。

3.3.2 仿真结果及分析

在左边的俯视通道中用连续线段标记出粒子行走的路径。在多障碍(23个)的环境中,通过反复点击屏幕上不同位置不断变换起点和终点进行仿真实验,分别用改进前后算法进行寻路,得到图6所示的仿真结果。图6(a)给出改进前算法粒子寻路失败情况,图(b)~(d)验证了改进后算法粒子能成功绕开障碍物并规划出正确路径。

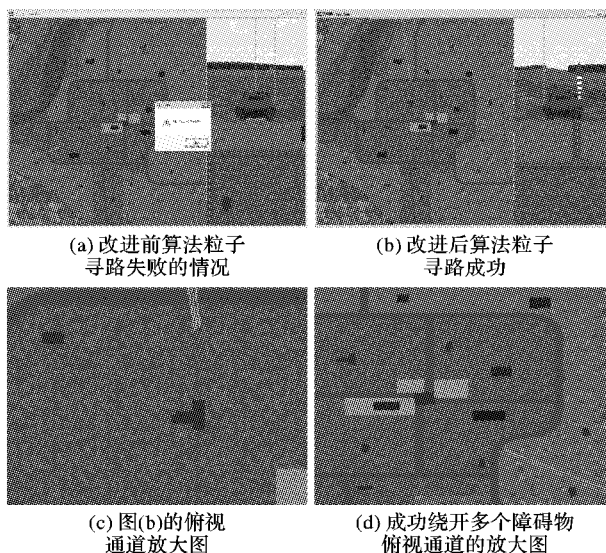


图6 仿真结果示意图

采用相同地形场景,相同的起点、终点测试6次,改进前后算法寻路时间如表1所示,其中“—”表示寻路失败。

表1 VP 程序改进前后寻路时间对比 s

算法	实验次数					
	1	2	3	4	5	6
改进前	22.7	—	22.6	—	—	21.9
改进后	20.8	19.6	20.7	21.2	—	21.5

由表1可以看出,改进前的程序出现寻路成功的概率仅为50%,而改进后的程序寻路成功的概率为83%,提高了33%;且寻路时间变短,说明改进后算法的搜索能力得到很大提升。

4 结语

本文分别在栅格地图环境、VP三维视景多障碍大地图仿真环境中,针对标准粒子群算法中粒子易陷入局部最优导致寻路失败的问题进行了改进,提出了8-邻域局部搜索最优可行解、给障碍物添加坡度等算法,理论分析和仿真结果验证了改进后算法的有效性和实用性。

参考文献:

- [1] PINTO A M, MOREIRA A P, COSTA P G. A localization method based on map-matching and particle swarm optimization [J]. *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, 2013, 72(3): 1-14.
 - [2] WANG T, FAN G. The research of building fuzzy C-means clustering model based on particle swarm optimization [J]. *Telkomnika — Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2013, 11(12): 7589-7598.
 - [3] WU C, WANG D, LP A, *et al.* A particle swarm optimization approach for components placement inspection on printed circuit boards [J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2009, 20(5): 535-549.
 - [4] PU X, ZHANG J, ZHANG Y. Path planning method for mobile robot based on particle swarm optimization with time-varying fitness function [J]. *Application Research of Computers*, 2010, 27(2): 4454-4456. (蒲兴成, 张军, 张毅. 基于时变适应度函数的改进粒子群算法及其在移动机器人路径规划中的应用[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(12): 4454-4456.)
 - [5] DAI, Y, LIU L, LI Y, *et al.* An improved particle swarm optimization based on cellular automata [J]. *International Journal of Computing Science and Mathematics*, 2014, 5(1): 94-106.
 - [6] LUO R, TU D. Vision sensors integration based grid-method for robot real-time obstacle detection [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2011, 47(24): 233-235. (罗荣贵, 屠大维. 栅格法视觉传感集成及机器人实时避障[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(24): 223-235.)
 - [7] WANG X, DONG X, ZHENG H, *et al.* Vega Prime real-time 3D virtual reality technology [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2012. (王孝平, 董秀成, 郑海春, 等. Vega Prime 实时三维虚拟现实开发技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2012.)
 - [8] WANG J, KANG F, YOU Y. Research on multi-channels based on Vega Prime under MFC framework [J]. *Fire Control & Command Control*, 2010, 35(7): 130-132. (王娇艳, 康凤举, 由延军. MFC框架下的多通道视景仿真技术[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(7): 130-132.)
 - [9] HU Z, YU J. Research of software integrated technology of Vega Prim based on MFC programming framework [J]. *Journal of System Simulation*, 2009, 21(14): 4291-4294. (胡梓楠, 于劲松. 基于MFC编程框架的Vega Prime软件集成技术的研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(14): 4291-4294.)
 - [10] QI Z, DU X, LIAO Y, *et al.* Research of multiple rocket simulation training system based on Vega Prime [J]. *Journal of System Simulation*, 2010, 22(2): 366-368. (戚泽华, 杜小菁, 廖炎平, 等. 基于Vega Prime的集束火箭仿真训练系统的研究[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(2): 366-368.)
 - [11] LIU X, WEI H, ZHOU C, *et al.* The path planning for UAV based on orthogonal particle swarm optimization [C]// MIPPR 2013: Proceedings of the 2013 International Conference on Remote Sensing Image Processing, Geographic Information Systems, and Other Applications, SPIE 8921. Bellingham: SPIE, 2013: 89210X.
 - [12] ALEJO D, COBANO J A, HEREDIA G, *et al.* Particle swarm optimization for collision-free 4D trajectory planning in unmanned aerial vehicles [C]// Proceedings of the 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems. Piscataway: IEEE, 2013: 298-307.
-
- (上接第2546页)
- [2] KARABOGA D, BASTURK B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm [J]. *Journal of Global Optimization*, 2007, 39(3): 459-471.
 - [3] STORN R, PRICE K. Differential evolution — a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces [J]. *Journal of Global Optimization*, 1997, 11(4): 341-359.
 - [4] DORIGO M, MANIEZZO V, COLORNI A. Ant system: optimization by a colony of cooperating Agents [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 1996, 26(1): 29-41.
 - [5] LIANG J J, QIN A K, SUGANTHAN P N, *et al.* Comprehensive learning particle swarm optimizer for global optimization of multimodal functions [J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2006, 10(3): 281-295.
 - [6] THANGARAJ R, PANT M, ABRAHAM A, *et al.* Particle swarm optimization: hybridization perspectives and experimental illustrations [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2011, 217(12): 5208-5226.
 - [7] QIN A K, HUANG V L, SUGANTHAN P N. Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization [J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2009, 13(2): 398-417.
 - [8] BREST J, GREINER S, BOSKOVIC B, *et al.* Self-adapting control parameters in differential evolution: A comparative study on numerical Benchmark problems [J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2006, 10(6): 646-657.
 - [9] ZHU G, KWONG S. Gbest-guided artificial bee colony algorithm for numerical function optimization [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2010, 217(7): 3166-3173.
 - [10] CIVICIOGLU P. Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2013, 219(15): 8121-8144.
 - [11] KARABOGA D, AKAY B. A comparative study of artificial bee colony algorithm [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2009, 214(1): 108-132.
 - [12] ZHANG J, SANDERSON A C. JADE: adaptive differential evolution with optional external archive [J]. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2009, 13(5): 945-958.