

基于遗传蚁群算法的机器人全局路径规划研究

张汝波, 郭必祥, 熊 江

(哈尔滨工程大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 蚁群算法是基于生物界群体启发行为的一种随机搜索寻优方法, 它的正反馈性和协同性使其可用于分布式系统, 隐含的并行性更使其具有极强的发展潜力, 它在解决组合优化问题上有着良好的适应性。因此将其应用到智能机器人全局路径规划中, 其目的是探索一种新的路径寻优算法。在基于栅格划分的环境中, 研究了机器人路径规划问题中蚁群系统的“外激素”表示及更新方式, 并将遗传算法的交叉操作结合到蚁群系统的路径寻优过程中, 提高了蚁群系统的路径寻优能力, 为蚁群算法的应用提供了一种新的探索。

关键词: 蚁群算法; 遗传算法; 全局路径规划; 机器人

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7043(2004)06-0724-04

Research on global path planning for robots based on ant colony algorithm

ZHANG Ru-bo, GUO Bi-xiang, XIONG Jiang

(School of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: An ant colony algorithm is a stochastic searching optimization algorithm that is based on the heuristic behavior of the biologic colony. Its positive feedback and coordination make it possible to be applied to a distributed system. It has favorable adaptability in solving combinatorial optimization and has great development potential for its connotative parallel property. This study focused on global path planning with an ant colony algorithm in an environment based on grids, which explores a new path planning algorithm. How to present and update the pheromone of an ant system was investigated. The crossover operation of a genetic algorithm was used in the ant system for path optimization. Experimental results show that the algorithm has better path planning optimization ability than other algorithms.

Keywords: ant colony algorithm; genetic arithmetic; global path planning; robot

全局路径规划技术是智能机器人领域中的核心问题之一, 全局路径规划是指在已知环境信息的情况下, 在有限条件下规划一条由起点到终点的最优或较优路径。全局路径规划一般包括环境建模和搜索策略 2 个子问题。其中环境建模的主要方法有: 可视图法(V-graph)、自由空间法(free space approach)和栅格法(grids)等。现在通常使用的搜索技术包括: 梯度法、A* 等图搜索方法、枚举法、随机搜索法, 等。而这些方法中梯度法易陷入局部最小点, 图搜索方法、枚举法不能用于高维的优化问题, 随机搜索法则

计算效率太低^[1,2]。由此, 许多研究者将神经网络(NN)、遗传算法(GA)等仿生算法用于机器人路径规划中, 改进了传统算法的性能^[3]。

人工蚁群算法是受到人们对自然界中真实蚁群集体行为研究成果的启发而提出的一种基于蚁群的模拟进化算法。它在解决组合优化问题上有着良好的适应性, 已被成功地应用于解决如 TSP、QAP、JSP 等问题^[4], 吸引了不少研究者进行相关研究。目前的研究多集中在解决 TSP 问题中怎样改进蚁群系统“信息素”的表示及更新方式来改善蚁群算法的性能上^[5-9]。这里在搜索栅格点的选择中引入了“外激素”信息, 用蚁群算法结合遗传算法的交叉操作搜索路径, 用最值蚂蚁的思想更新“外激素”信息, 解决

收稿日期: 2004-07-07.

基金项目: 国防科学技术工业委员会基础研究基金资助项目
(413160702).

作者简介: 张汝波(1963-), 男, 教授, 博士生导师.

了机器人的全局路径规划问题。

1 环境划分

机器人的起点为 S , 目标点为 G , S 、 G 之间存在一些障碍物, 如图 1 所示。规划任务为搜索一条由 S 点到 G 点的路径长度最短的无碰路径。其目标函数可表示为

$$F = \sum_{i=2}^{n_p} \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}. \quad (1)$$

式中: x_i, y_i 为路径点的坐标信息, n_p 为路径点的个数。

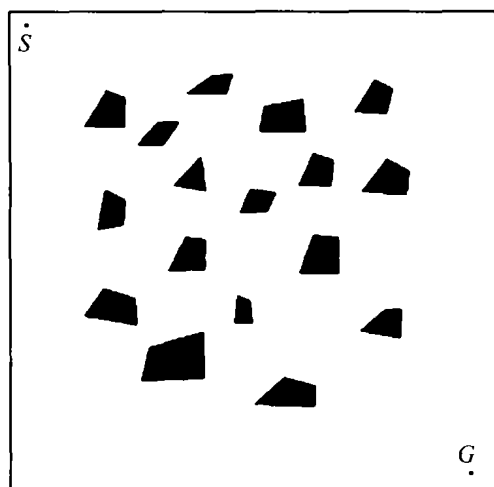


图 1 机器人的工作环境

Fig. 1 The working environment of robot

工作空间用 $(n \times m)$ 的栅格进行划分, 用 0 和 1 分别表示自由栅格和障碍栅格, 栅格点用序号表示, 按照从左至右, 从上到下的顺序依次编序。设工作空间的长为 X 个单位, 宽为 Y 个单位, 则序号 N 与栅格中心点坐标 (x, y) 之间的映射关系为

$$\begin{aligned} x &= (N \bmod n) \times \frac{X}{n} + \frac{X}{2n}, \\ y &= \text{int}(N/n) \times \frac{Y}{m} + \frac{Y}{2m}. \end{aligned} \quad (2)$$

2 蚁群算法的实现

2.1 “信息素”的表示

“信息素”分布在每个栅格点到与其相邻栅格的路径上, 蚂蚁从 S 点开始搜索, 蚂蚁的每一步搜索范围是与其当前所在栅格相邻的 8 个栅格, 每一栅格点 i 到其相邻栅格点 j 的“信息素”值依式(3)进行初始化。

$$\tau_{ij} = \begin{cases} a, & \text{若 } j \text{ 为可达栅格} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: a 为一常数, j 为与 i 相邻的栅格, d_i 表示栅格 i 到终点 G 的距离。定义与 i 相邻的左、右、上、下 4 个栅格为直接相邻栅格, 左上、左下、右上、右下 4 个栅格为间接相邻栅格, 可达栅格的判别规则如下:

1) 若 $d_j < d_i$, j 与 i 直接相邻且为自由栅格;

2) 若 $d_j < d_i$, j 与 i 间接相邻且 j 及趋向 j 的与 i 相邻的两个直接相邻栅格均为自由栅格。

边界的搜索只须考虑与其相邻的 3 个栅格, 这样, 就把蚂蚁每一步的搜索点限定在了距终点较近的栅格上。

2.2 路径点的选择

蚂蚁在 t 时刻处于 i 点时选择下一个可达栅格 j 的转移概率为

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) D_j^\beta}{\sum_j \tau_{ij}^\alpha(t) D_j^\beta}. \quad (4)$$

式中: $\tau_{ij}(t)$ 表示在 t 时刻栅格 i 到栅格 j 的路径上残留的信息量; D_j 为距离信息, 这里取为 Q/d_j , 其中 Q 为一常数, d_j 为栅格 j 到 G 点的距离值; α 为信息素的相对重要程度; β 为距离信息的相对重要程度。

蚂蚁搜索路径点时, 有可能进入这样的栅格: 它到与之相邻的栅格点的信息素值均为零, 此时可加一个回馈信息, 使蚂蚁回到上一次搜索的路径点, 并将此栅格置为障碍栅格。

2.3 “信息素”的更新

采取什么策略更新信息素是决定蚁群算法性能的关键因素。一般地, 要考虑两方面的因素: 一是要加强正反馈的效果, 提高蚂蚁的搜索效率; 二是采取一定措施, 减小陷入局部优化的可能性。该文提出的算法中, 用最值蚂蚁算法的思想, 在搜索初期, 只用周游最优蚂蚁的路径信息来更新信息素(周游最优蚂蚁是蚁群在一次搜索中搜索到的最优路径), 随着搜索次数的增多, 逐步加大全局最优蚂蚁路径信息的更新频率(全局最优蚂蚁是蚁群在已经完成的搜索中所得到的最优路径), 直至到搜索后期只用全局最优蚂蚁的路径信息更新信息素。这样每次搜索都采用周游最优蚂蚁和全局最优蚂蚁的路径信息更新信息素, 而不是所有的蚂蚁的路径信息, 加强了正反馈的效果; 同时周游最优蚂蚁路径信息的更新也在一定程度上增加了了解的多样性, 减小了陷入局部优化的可能性。算法中依据式(5)和(6)对各路径上的信息素做出调整。

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}, \quad (5)$$

$$\Delta \tau_{ij} = (1 - \rho) \times \left(\frac{a_k}{L_c} + \frac{b_k}{L_w} \right) \times \frac{1}{a_k + b_k}. \quad (6)$$

式中: ρ ($0 \leq \rho < 1$) 来表示信息素物质的持久性; $1 - \rho$ 表示信息素物质的消逝程度; L_c 为周游最优蚂蚁的路径长度; L_w 为全局最优蚂蚁的路径长度; a_k 、 b_k 为整型变量, 分别代表用周游最优蚂蚁和全局最优蚂蚁更新信息素的权重, 其和为一常数 (a_k 的值随着搜索次数的增加而逐步减小, b_k 的值随着搜索次数的增加而逐步增大)。

2.4 交叉算子的加入

考虑到蚁群系统在更新信息素时只是用到周游最优蚂蚁或者全局最优蚂蚁的路径信息, 若随机选择的两只蚂蚁不包含周游最优蚂蚁, 则对一次搜索的贡献不大, 在仿真实验中也证明了这一点。该算法中, 交叉在一次搜索后得到的周游最优蚂蚁与随机选择的另外一只蚂蚁之间进行, 若两只蚂蚁经过了相同的栅格点, 则随机地选择一个相同的栅格点进行交叉 (不包括起点和终点); 若两只蚂蚁没有经过相同的栅格点, 则不进行交叉操作。若在交叉后得到了优于周游最优路径的新路径, 则更新周游最优蚂蚁的路径信息, 否则进行下一次交叉操作。交叉算子的加入提高了蚂蚁在一次搜索中搜索到更好的路径的能力, 同时也增加了了解的多样性。

3 算法描述

该算法的主要步骤:

1) 令时间 t 和循环次数 N_c 为 0, 设置蚂蚁数量 AntNumber 和最大循环次数 $N_{c_{max}}$, 初始化环境信息, 按式(3)初始化各个栅格点上的信息素, 并将所有蚂蚁都置于起点 S 。

2) 启动蚁群, 按式(4)计算的概率用轮盘法随机选择下一个路径点, 若此栅格到其相邻栅格的路径上的信息素值均为 0, 则回馈到上一个搜索的路径点, 并将其置为障碍栅格。

3) 重复 2), 直到蚁群到达终点 G 。

4) 对蚁群搜索到的路径进行交叉运算, 记录周游最优蚂蚁和全局最优蚂蚁的路径信息。

5) 令 $t = t + 1$; $N_c = N_c + 1$, 根据式(5)和式(6)更新各条路径上的信息素。

6) 若蚁群全部收敛到一条路径或达到最大循环次数, 则循环结束, 输出最佳路径, 否则到 2)。

4 仿真实验结果

对提出的算法在 PC 机上用 VC6.0 进行了仿真实验。采用的参数为 $\alpha = 1$, $\beta = 2$, $\rho = 0.5$, $Q = 100$, $N_{c_{max}} = 50$, 交叉概率 $P_c = 0.8$ 。取蚂蚁数量为

100。图 2 和 3 分别为在两种不同环境中算法规划出的路径。表 1 对采用基本蚁群算法、最优值蚁群算法和文中提出算法的 10 次规划结果进行了比较。最优值为 3 种算法在两种不同环境中 10 次规划结果所得到的最短路径长度, 平均值为 10 次规划结果所得到的路径长度的平均值。实验表明, 该算法要优于基本蚁群算法和最优值蚁群算法。尤其是在路径比较分散的情况下, 在全局更新的作用下, 基本蚁群算法和最优值蚁群算法更容易陷入局部最优化, 而本文算法引入交叉操作, 能够很好地降低搜索陷入局部最优化的可能性。

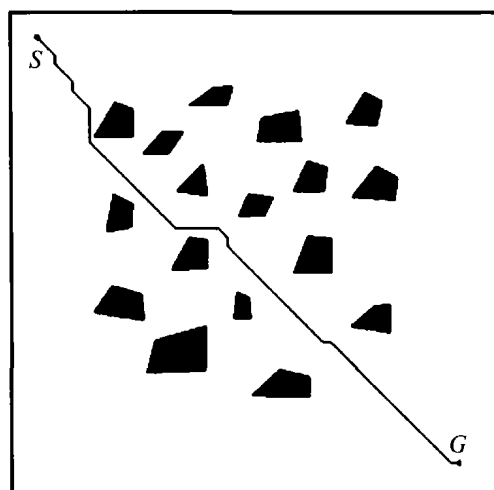


图 2 环境 1 的规划路径

Fig. 2 The planning path in environment 1

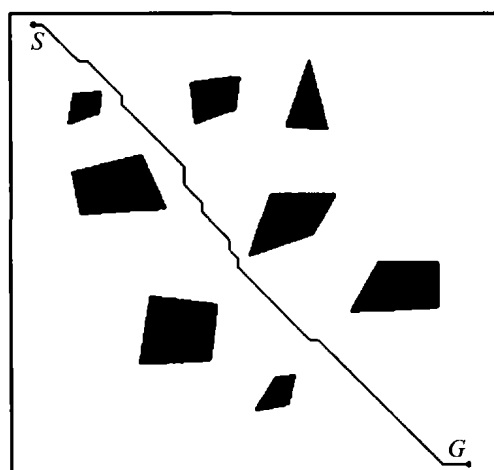


图 3 环境 2 的规划路径

Fig. 3 The planning path in environment 2
表 1 3 种算法的比较结果

Table 1 The comparison results of three algorithms

	基本蚁群算法		最优值蚁群算法		本文算法	
	最优值	平均值	最优值	平均值	最优值	平均值
环境 1	763.3	767.9	763.3	765.0	734.0	736.3
环境 2	763.3	766.2	757.4	757.4	728.1	728.7

5 结束语

蚂蚁算法是基于生物界群体启发行为的一种随机搜索寻优方法,它的正反馈性和协同性使其可用于分布式系统,隐含的并行性更使其具有极强的发展潜力,现已经陆续应用到组合优化、通讯等多个领域,在机器人路径规划及群体协作方面也已陆续有一些应用.在“信息素”更新和挥发的作用下,蚁群算法及最值蚁群算法在搜索初期得到的最优蚂蚁对搜索路径的影响很大,而初期得到的路径往往不是最优的,这样就易使搜索过于集中而导致算法停滞.该文将遗传算法与蚁群算法结合进行路径寻优,围绕搜索得到的全局最优蚂蚁和周游最优蚂蚁与整个蚁群进行交叉操作,并用交叉后得到的最优蚂蚁路径信息更新“信息素”,从而加强了正反馈的效果,增加了了解的多样性,降低了蚁群算法陷入局部极小的可能性,加快了收敛速度,同时该算法也有利于并行执行和应用,仿真实验验证了所提出算法的有效性.

尽管蚂蚁算法有很多优势,但它还不像其他的启发式算法那样已形成系统的分析方法和具有坚实的数学基础.参数的选择更多的是依靠实验和经验,没有定理来确定.故而算法在理论和实践方面尚有许多问题需要更深入的研究与解决.

参考文献:

- [1]张颖,吴成东,原宝龙. 机器人路径规划方法综述[J]. 控制工程,2003,10(增刊):152-155.
ZHANG Ying, WU Chengdong, YUAN Baolong. Progress on path planning research for robot[J]. Control Engineering of China,2003,10(supplement):152-155.
- [2]王醒策,张汝波,顾国昌. 基于势场栅格法的机器人全局路径规划[J]. 哈尔滨工程大学学报,2003,4:170-174.
WANG Xingce, ZHANG Rubo, GU Guochang. Potential grid based global path planning for robots[J]. Journal of Harbin Engineering University,2003,4:170-174.
- [3]刘玉明. 基于遗传算法的智能水下机器人全局路径规划的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学船舶工程学院,2002.
LIU Yuming. Research on global path planning for AUV based on genetic algorithm[D]. Harbin: Harbin Engineering University,2002.
- [4]MARTIN M, FRANK R, HARTMUT S. Multi colony ant algorithms [J]. Journal of Heuristics, 2002,8:305-320.
- [5]DANIEL M, MARTIN M. Ant colony optimization with global pheromone evaluation for scheduling a single machine [J]. Applied Intelligence,2003,18:105-111.
- [6]蒋建国,骆正虎. 基于改进型蚁群算法求解旅行 Agent 问题[J]. 模式识别与人工智能,2003,3:6-11.
JIANG Jianguo, LUO Zhenghu. Solution to traveling agent problem based on improved ant colony algorithm [J]. PR&AI,2003,18:105-111.
- [7]李天成,罗键. 应用智能蚂蚁算法解决旅行商问题[D]. 厦门:厦门大学自动化系,2003.
LI Tiancheng, LUO Jian. An intelligent ant system for solving TSP[D]. Xiamen: Dept of Automation, Xiamen University,2003.
- [8]吴庆洪,张纪会,徐心和. 具有变异特征的蚁群算法[J]. 计算机研究与发展,1999,35(10):240-245.
WU Qinghong, ZHANG Jihui, XU Xinhe. An ant colony algorithm with mutation features[J]. Journal of Computer Research & Development, 1999,35(10):240-245.
- [9]周勇,陈洪亮. 蚁群算法的研究现状与展望[J]. 微型电脑应用,2002,2:5-7.
ZHOU Yong, CHEN Hong-liang. Research and expectation of ant colony system algorithm[J]. Microcomputer Application,2002,2:5-7.

[责任编辑:陈峰]

(上接第713页)

- [4]PETTERSEN K Y, NIJMEIJER H. Tracking control of an underactuated surface vessel[A]. in Proc 37th IEEE Conference on Decision and Control[C]. Tampa, Florida, USA, 1998.
- [5]Fliess M, LEVINE J. Flatness and defect of nonlinear systems: Introductory theory and examples[J]. International Journal of Control, 1995, 61:1327-1361.
- [6]MICHIEL J. NIEUWSTADT V, MURRAY R M, et al. Real time trajectory generation for differentially flat systems [J]. International Journal Robust & Nonlinear Control, 1998,8(11):995-1020.
- [7]MICHIEL J, NIEUWSTADT V, MURRAY R M, et al. Differential flatness and absolute equivalence of nonlinear control systems[J]. SIAM Journal on Control and Optimization,1998,36(4):1225-1239.
- [8]ERJEN L, PETTERSEN K Y, NIJMEIJER H. Tracking control of an underactuated ship[J]. IEEE transactions on control systems technology, 2003, 11(1): 52-61.
- [9]REYHANOGU M. Exponential stabilization of an underactuated autonomous surface vessel[J]. Automatic, 1997, 33(12): 2249-2254.

[责任编辑:郑可为]