

# 基于蚁群粒子群融合的机器人路径规划算法<sup>①</sup>

王 宪<sup>1</sup>, 王 伟<sup>1</sup>, 宋书林<sup>1</sup>, 平雪良<sup>2</sup>, 彭 力<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

<sup>2</sup>(江南大学 机械工程学院, 无锡 214122)

**摘 要:** 针对复杂环境下中移动机器人路径规划问题, 提出了一种基于蚁群粒子群融合的路径规划算法。该算法首先利用粒子群路径规划的环境建模方法快速规划出起始点到目标点的初始路径。然后根据产生的路径进行信息素的分配, 最后经改进的蚁群算法进行进一步寻优, 从而找出最优路径。经仿真证明, 该方法在寻得最优路径的基础上可大大降低寻优的时间, 尤其是对于复杂环境下的路径规划, 其效果尤为明显。

**关键词:** 路径规划; 蚁群算法; 粒子群算法; 信息素

## Robot Path Planning Based on Ant Colony Optimization and Particle Swarm Optimization

WANG Xian<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, SONG Shu-Lin<sup>1</sup>, PING Xue-Liang<sup>2</sup>, PENG Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(School of Communication and Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

<sup>2</sup>(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** A novel path planning approach based on particle swarm optimization (PSO) and ant colony optimization (ACO) algorithm is presented aiming at mobile robots in complex environment. Firstly the algorithm makes use of the method of environment modeling of particle swarm to quickly plan a initial path from the starting point to the goal point of the path. Then pheromone is distributed based on the paths generated before. At last, an improved ant colony optimization is used to find the eventually best path. The simulation shows that this method can greatly reduce the searching time, especially in complex environment.

**Key words:** path planning; ant colony optimization (ACO); particle swarm optimization (PSO); pheromone

## 1 引言

移动机器人路径规划是机器人学的一个重要的领域, 它可以定义为移动机器人在一个充满障碍物的环境中, 根据某个或某些准则(如工作代价最小, 行走路线最短, 行走时间最短等)搜索一条从起始点到目标点的最优或近似最优的路径<sup>[1]</sup>。

基于不同的应用背景考虑, 路径规划存在多种算法, 有人工势场法<sup>[2]</sup>、快速随机树法<sup>[3]</sup>、神经网络<sup>[4]</sup>和遗传算法<sup>[5]</sup>等。这些算法在不同方面有着各自不同的优势, 同时也存在各自的不足, 如计算复杂度高、易产生局部最优、地图适应性差、搜索时间长等, 使得路径规划也受到了一定程度的限制。

针对机器人路径规划, 近年来, 研究人员较多地

采用了蚁群算法(ACO)<sup>[6]</sup>和粒子群算法(PSO)<sup>[7]</sup>。两种算法都是新兴的智能算法, 它们都有各自的优点和缺点:

(1) 蚁群算法具有较好的信息反馈效果, 优良的分步计算机制, 较强的启发式搜索能力等优点。但存在初期信息素匮乏, 求解速度较慢的缺点。

(2) 粒子群算法具有全局搜索能力强, 收敛速度快、易与其它方法相结合等优点。但存在算法后期局部搜索能力差, 反馈信息利用不充分的缺点。

针对上述问题, 本文提出了基于蚁群和粒子群融合的移动机器人路径规划算法, 该算法将粒子群的环境建模方法与蚁群算法相融合, 充分发挥了粒子群算法全局搜索速度快和蚁群算法精确地路线寻优的优

① 基金项目:国家自然科学基金(60973095)

收稿时间:2010-12-19;收到修改稿时间:2011-01-11

点,使整个算法不仅能快速地寻找到路径,而且得到的路径也更优。

## 1 问题描述与环境建模

机器人路径规划问题可以称之为限制性的寻优问题,可以这样描述:我们可以将环境看成一个充满 0 和 1 的矩阵,矩阵中每个点都代表一个 1\*1 的正方形栅格,矩阵中 0 代表自由空间,而 1 代表障碍物,机器人便是这矩形空间的一个点。移动过程中,机器人利用自己的感知器感知周围环境信息,也就是栅格的信息。只要给了初始点和目标点,机器人便会从起始点出发绕过障碍物找到目标点<sup>[8]</sup>。

使用栅格法时,要注意两点:首先,栅格的大小要适中,太大难以精确描述环境信息,太小又会大大增加计算量;其次,在搜索过程中很容易遇到陷阱,为了尽量少的陷入陷阱中,我们需要预先对环境信息进行处理,填充部分陷阱以去除一些不可能成为最优路径一部分的自由栅格,加快收敛速度。有四种自由栅格是需要填充的,如图 1。

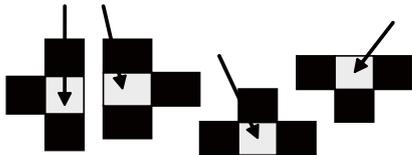


图 1 需填充栅格图

经过填充,我们能更容易地绕过障碍物进行路径寻优,图 2 和图 3 分别为经填充前后的环境栅格图。

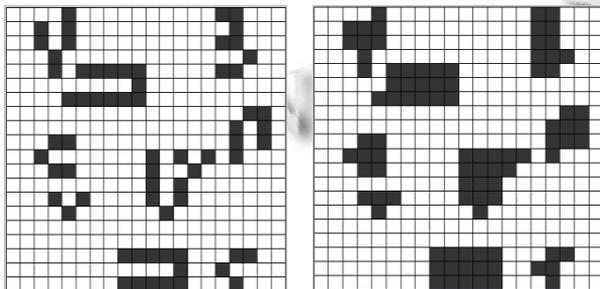


图 2 经填充前栅格图 图 3 经填充后栅格图

在复杂环境下的机器人路径规划,对于需要有正反馈累积作用发挥优势的蚁群算法来说,如何在最短的时间内找到第一条从起始点到目标点路径显得尤为重要。在普通蚁群算法,环境中信息素的平均分配机

制使得蚁群算法在开始的搜索过程中建立一条从起始点到目标点的路径的速度极慢,尤其是在复杂环境中,有时会几十次,甚至上百次的循环都不能搜索出一条完整的路径,使得信息素的反馈机制迟迟不能生效,消耗了大量的循环,也消耗了时间。

本算法采用粒子群的建模方法,能迅速规划出从起始点到目标点的路径,虽然这些快速规划出的路径并不理想,但它们是完整的路径,只要在这些路径上加入比周围更多的信息素,那么便会会对蚂蚁的搜索具有一定的导向作用,指导蚂蚁更快的搜索出第一条从起始点到目标点的路径,从而更快地启动后面的信息素反馈机制。

如图 4 所示,假设起始点 S 和目标点 E 均已知。首先将点 S 与点 E 连接成线段 SE,然后将 SE 分成相同的 n 等分,图 4 中的虚线为在每个等分点做的关于线段 SE 的垂线,现将每条虚线经过的栅格作为一个集合,集合中非障碍物栅格便为此栅格集合的可选集合。由图 4 中 S 与 E 的位置关系可知,每个粒子的维数为 20,也就是说要完成从起始点到目标点的整条路径,粒子共需走 20 步,而其中每一维便是 SE 之间垂直所经过的其中一个可选点(当然起始点与目标点的可选点只有一个分别为 S 与 E)。规划从 S 开始,依次从每个可选集合中随机选择栅格,如果所有相邻两点的连线均不穿过障碍物,则此条路径便符合条件。如此便能迅速规划出一条路径<sup>[9]</sup>。

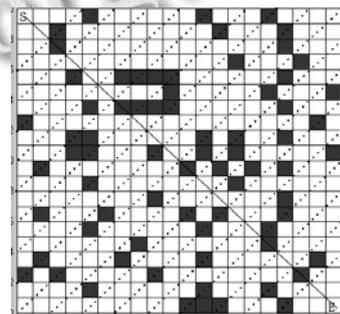


图 4 起始点粒子群建模图

图 5 为规划的一条路径, a,b,c,d,e 为规划过程中从前 5 条虚线的可选集合中随机选取的栅格。由图可见,首先从离 S 最近的虚线选点,选出 a,测得 Sa 线段不经过障碍物,则 a 点可选,否则便重新选点,直到选出符合条件的 a 点。继而从第二条虚线的可选集合中随机选点,选择 b 点,ab 线段也不经过障碍物,

故 b 点也为可选，如此反复，依次向下选取，直到 E 点，由此便完成了寻求一条由 S 到 E 的完整路径的任务。

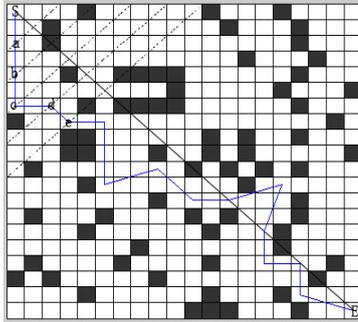


图 5 快速全局规划结果图

使用粒子群的建模方法最大的优点在于一方面相对于蚁群算法来说其规划时间极短，故加于蚁群算法之前不会损耗太多的时间，相反由于一开始便有了路径的信息反馈作用，此举还会减少蚁群算法的寻优时间，从而达到既节省时间又优化路径的效果。

## 2 蚁群粒子群融合算法

### 2.1 信息素分配

与传统蚁群算法不同，本方法在开始蚁群算法时首先要根据先前整体规划出来的路径进行信息素的分配。因为整体规划出来的路径与我们要寻求的路径相差较大，故我们不会全部使用这些路径，而是从这些整体规划出来的路径中按路径最短的原则从小到大选出路径较短的 n 条路径，然后在整体的环境已经加入相同信息素的基础上再加大这 n 条路径的信息素的浓度。一旦有了信息素的指引作用，蚁群算法便能更加迅速的找到目标点，一方面降低了蚂蚁寻优过程中走一些冗余栅格的概率，节省了寻优的时间，另一方面使这有限的循环可以腾出更多的次数进行细节的调整，使路径更优，减少路径的长度<sup>[10]</sup>。

### 2.2 方向信息

在传统的蚁群算法中，蚂蚁可以向任意的方向搜索，包括向着与目标点相反的方向，这就浪费了大量时间，还无形中降低了收敛的速度。但如果让蚂蚁向着目标点的方向搜索便可以避免搜索一些不必要搜索的栅格，从而节省了搜索时间，加快了收敛速度，本文便使用了方向信息实现了蚁群算法的优化。例如，如图 6 所示，我们便可采用如下的方向信息来进行路

径的搜索：

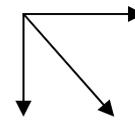


图 6 箭头所指方向图

### 2.3 信息素更新

传统的蚁群算法，只要是觅食蚂蚁走过的路径，便要在路径上添加相同的信息素。这种全局信息素更新机制有一定的缺点：首先，不管这条路径如何差，只要是一条从起始点到目标点的完整路径，便添加跟其他较好的路径相同的路径，这样会使较好的路径的优势更难以发挥，从而减慢了收敛速度；其次，一些更好的路径点，因为开始没有被蚂蚁搜索到，更新完信息素后被蚂蚁搜索到的概率便更小了，这也会影响收敛速度。于是，本文提出一种新的信息素更新机制，在这种新的机制下加入了一个信息素分散因子，我们将搜索到的路径从最优到最差进行排列，然后找到中间值的一条，再利用此中间路径长度和各条路径长度便可得出信息素分散因子。与传统蚁群算法相比，这种选择性更新信息素的机制可以大大减少那些搜索出来的较差路径的影响，增强较优路径的影响力，明显的加快收敛速度，它可以进行如下描述：

$$\tau_{ij} (t+n) = (1-\rho)\tau_{ij} (t) + \theta_k \Delta \tau_{ij} \quad (1)$$

式中， $\tau_{ij}$  为 i 与 j 之间的信息素， $\Delta \tau_{ij}$  为 i 与 j 之间增加或减少的信息素， $\rho$  为信息素残留因子， $\theta_k$  便为第 k 条路径的信息素分散因子，它可以表述为：

$$\theta_k = \frac{L_k - L\_mid}{L\_best} \quad (2)$$

式中， $L_k$  是第 k 条路径的长度， $L\_mid$  是中间值的路径的长度， $L\_best$  是最优路径的长度。当然相应的  $\Delta \tau_{ij}$  也要变为：

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q / L\_best & i, j \in L_k \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

其中，Q 为常量。

### 2.4 程序流程

本算法程序流程如图 7：

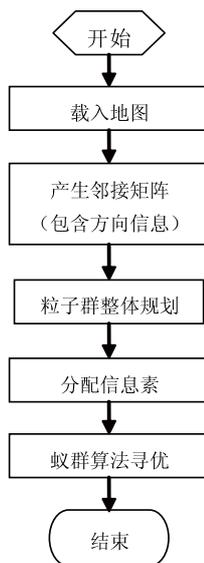


图 7 程序流程图

### 3 仿真结果与分析

为验证上述算法的正确性和有效性，运用 MATLAB 对本算法进行了仿真实验。实验环境为：P4 2.26G，内存 1024M。蚁群参数为：蚂蚁数目  $N_a=10$ ，最大迭代次数  $M_a=100$ ，信息素的相对重要程度  $\alpha=1$ ，距离信息的相对重要程度  $\beta=2$ ，常数  $Q=100$ ，信息素物质的消逝程度  $\rho=0.1$ ；粒子群的参数分别为：粒子数目  $N_p=30$ ，最大迭代次数  $M_p=50$ ， $c_1=c_2=1.4962$ 。

实验中，我们重点把使用本方法中的蚁群算法（以后所述蚁群算法均指此算法）与加入粒子群后的蚁群粒子群融合算法这两种方法进行了对比。图 8 至图 11 分别为在不同环境下得出的不同结果，图中星号为经蚁群算法得出的路线，直线为经本文所述方法得出的路线。

图 8 为在一个  $20 \times 20$  的栅格环境随机生成的障碍物，并将起始点定位两个对角线的两端。我们进行两个方面的比较：

(1) 路径长度：为方便计算，假设一个方格长度为 1。经蚁群算法规划出的路线长度为 32.14，而经本文方法规划出的路线长度为 29.21，缩短了约 10%。由此本方法寻出的路径更短。

(2) 规划时间：所谓的规划时间为从程序开始运行到最终绘出路线的整个时间。仿真显示，蚁群算法的规划时间为 3.24s，而本算法规划时间为 2.96s，也减少了将近 10%，在规划时间上也更短。

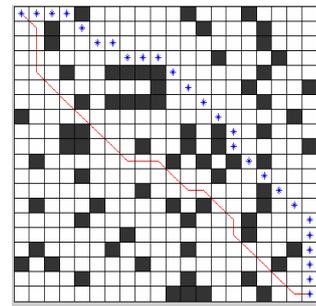


图 8 随机图

本算法将粒子群算法融入蚁群算法中，其全局规划与局部规划效果也得到了很好的验证：

(1) 全局规划：图 9 是在一些大型复杂障碍物的间隙中寻优，寻优过程中可能选不同的路径差距不会很大，就像图中经矩形上方跟下方其路径长度差距并不是很大，故更需要全局规划的启发作用。图 10 的环境需要路线的来回折返，由图中可看出本算法的全局规划效果非常明显。

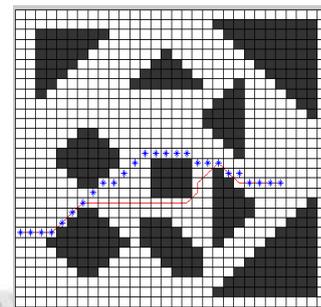


图 9 复杂障碍物图

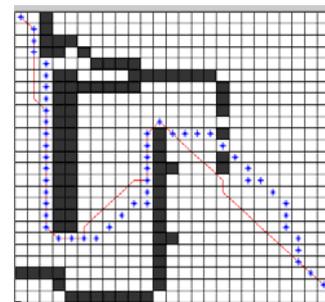


图 10 来回折返图

(2) 局部规划：由图 10 和图 11 可以看出，由于一开始就加入了信息素的引导作用，使得后面的蚁群算法可以把更多的工作放在局部细节的调整上，相对于单独的蚁群算法，本方法规划出的路径更加平滑。

并且因本算法对陷阱进行了预处理,故在图 11 环境中,搜索过程中不会一直陷入陷阱中,消耗大量时间。

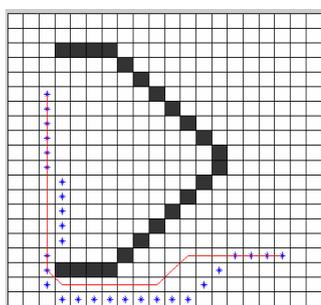


图 11 躲避陷阱图

本文在蚁群的算法中也加入了参数,目的是防止过早陷入局部最优,图 12 为本文经 100 次循环得出的最短路径长度与平均路径长度。由图我们可发现平均路径长度是一直在变化的,说明再循环过程中始终没有陷入局部最优,也就达到了最终的目的。

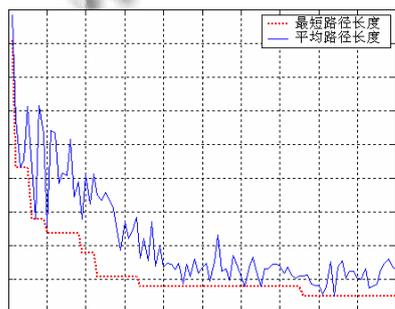


图 12 最短路径长度与平均路径长度

为更好的测试本方法的通用性及可行性,我们以图 10 栅格图为基本环境,并以图中所示的初始位置为初始位置,分别对几种方法进行了仿真并记录下路径长度和寻优时间。如此反复做了十次并分别记下十次的平均值。结果如表 1 所示。

表 1 各种算法的时间与路径长度对比

算法 对比	蚁群算法	蚁群交叉算法	粒子群全局规划	本文算法
路径长度	32.14	29.55	65.11	29.78
规划时间	12.62	49.59	0.19	10.05

表 1 中蚁群交叉算法为文献[12]中的算法,粒子群全局规划为我们用粒子群建模来规划出路径的方法。先看路径长度粒子群全局规划得出结果与最优相差太远,只适合进行初步规划,结果较为满意的为其余三种

方法,其中蚁群交叉算法效果最好其次为本文算法,而且与蚁群交叉算法相差无几;再从规划时间来看蚁群交叉算法虽路径较短但花费时间是本文算法的四倍,因此从两方面考虑,本文算法规划路径综合效果是最好的。

#### 4 结论

本文将粒子群的环境建模方法与蚁群算法进行了很好的融合,并从路径长度和规划时间两个指标进行了分析。从仿真结果看,本方法不论是对减少路径长度还是对缩短规划时间,都进行了有效的改进与提高。由此表明,此方法对机器人路径规划是行之有效的。

#### 参考文献

- 1 Li JG, Feng YW, Guo G. Real-time Path Planning Based on Certainty Grids Map in Complex Environments. Proc. of the 2007 IEEE International Conference on Integration Technology March 20-24, 2007, Shenzhen, China.
- 2 殷路,尹怡欣.基于动态人工势场法的路径规划仿真研究.系统仿真学报,2009,21(11):3325-3328.
- 3 王华,赵臣,王红宝,瓮松峰.基于快速扫描随机树方法的路径规划器.哈尔滨工业大学学报,2004,36(7):963-965.
- 4 Hu XZ, Xie CX, Xu QG. Robot Path Planning Based on Artificial Immune Network. Proc. of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics December 15-18, 2007, Sanya, China.
- 5 谭宝成,廉春原,徐艾,张海刚.一种基于改进遗传算法的机器人路径规划方法.西安工业大学学报,2008,28(5):456-459.
- 6 朱庆保,张玉兰.基于栅格法的机器人路径规划蚁群算法.机器人,2005,27(2):132-136.
- 7 孙波,陈卫东,席裕庚.基于粒子群优化算法的机器人全局路径规划.控制与决策,2005,20(9),1052-1054.
- 8 Gao o, Yan WS, Zhang FB, Wang YT. A Method of Constructing Complete Graph for Multi-objects Path Planning in Complex Environment. Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Information and Automation, June 22-25, 2009, Zhuhai/Macau, China.
- 9 毛宇峰,庞永杰.改进粒子群在水下机器人路径规划中的应用.计算机应用,2010,30(3):789-792.
- 10 陈焯,赵国波,刘俊勇,刘天琪,李华强.用于机组组合优化的蚁群粒子群混合算法.电网技术,2008,32(6):52-56.
- 11 邓高峰,张雪萍,刘彦萍.一种障碍环境下机器人路径规划的蚁群粒子群算法.控制理论与应用,2009,26(8):879-883.
- 12 孙纯哲,林巨广,楼赣菲,王淑旺.凹形障碍全局路径规划的双蚁群完全交叉算法.农业机械学报,2008,39(7):149-153.