

# 一种改进的多机器人路径规划 自适应人工势场法

高瑜, 过金超, 崔光照

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 在研究多机器人路径规划传统方法的基础上, 提出了一种改进的自适应人工势场法. 该方法通过设置虚拟目标点来解决传统人工势场法易陷入局部极小点的问题, 同时根据各个机器人所承担的任务和速度, 采用自适应优先权策略来实现机器人之间的自适应避障. 仿真实验验证了该方法的有效性和可行性.

**关键词:** 多移动机器人; 人工势场法; 虚拟目标点; 自适应避障

**中图分类号:** TP242    **文献标志码:** A    **DOI:** 10.3969/j.issn.2095-476X.2013.06.018

## An improved adaptive artificial potential field method for the path planning of multi-robot

GAO Yu, GUO Jin-chao, CUI Guang-zhao

(College of Electrical and Information Engineering Zhengzhou University of Light Industry Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Based on the study of the traditional multi-robot path planning, an improved adaptive artificial potential field method was proposed. In this method, the local minimum problem of the traditional artificial potential field could be solved by setting the virtual target point for mobile robot to escape local minimum. At the same time, according to the task and speed of the robot, it used the adaptive priority strategy to realize the adaptive obstacle avoidance of the robot. The results of the simulation proved the effectiveness and feasibility of this method.

**Key words:** multiple mobile robots; artificial potential field; virtual target point; adaptive obstacle avoidance

## 0 引言

多移动机器人研究中, 路径规划一直是研究的重点. 机器人的路径规划就是在有障碍物的环境中按照某一性能指标搜索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>[1]</sup>. 多移动机器人的路径规划要求多个机器人从各自的起始点出发, 在不与障碍物发生碰撞且机器人之间也没有碰撞的情况下, 沿着最优或者近似最优的路径到达各

自的目标点.

针对机器人的路径规划问题, 研究人员已经提出了很多方法, 如蚁群算法<sup>[2]</sup>、人工势场法<sup>[3-4]</sup>、空间法、栅格法、拓扑法、遗传算法<sup>[5]</sup>、神经网络法<sup>[6]</sup>和人工免疫算法<sup>[7]</sup>等. 其中人工势场法由于其结构简单、计算方便且容易满足实时性而获得了广泛的应用. 但传统的人工势场法多应用于单个机器人的路径规划, 且存在局部极小点问题. S. Fazli 等<sup>[8]</sup>通过采用沿墙跟踪的方法来解决障碍物附近目标不

收稿日期: 2013-10-14

作者简介: 高瑜(1987—), 男, 河南省邓州市人, 郑州轻工业学院硕士研究生, 主要研究方向为多机器人协作.

可达的问题.程拥强等<sup>[9]</sup>采用极限环法使机器人以圆弧状轨迹避开障碍物来达到避障的目的.M. H. Mabrouk等<sup>[10]</sup>采用内部立体状态来解决传统人工势场法的局部极小点问题.这些方法虽然在一定程度上可以解决机器人路径规划的局部极小点问题,但也存在一定的缺陷.沿墙跟踪法和极限环法规划速度慢,内部立体状态法不能解决静态势场问题.本文拟提出一种改进人工势场法来解决局部极小点和多机器人路径规划问题,并通过仿真验证该方法的有效性.

### 1 传统人工势场法

人工势场法是由 O. Khatib<sup>[11]</sup>提出的一种虚拟方法.它把移动机器人在环境中的运动视为在一种抽象的人造受力场中的运动,障碍物对机器人产生斥力,目标点产生引力.机器人就是在斥力和引力的合力控制下向着目标点运动.机器人的引力势场函数为

$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} \varepsilon d^2(q, q_{goal})$$

其中  $\varepsilon$  是引力势场常量  $d(q, q_{goal})$  是机器人  $q$  到目标点  $q_{goal}$  的距离.相应的引力为引力势场函数的负梯度

$$F_{att}(q) = -\nabla U_{att}(q) = \varepsilon(q_{goal} - q)$$

机器人的斥力势场函数为

$$U_{req}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left( \frac{1}{d(q, q_{obs})} - \frac{1}{d_0} \right)^2 & d(q, q_{obs}) \leq d_0 \\ 0 & d(q, q_{obs}) > d_0 \end{cases}$$

其中  $\eta$  为斥力势场常量  $q_{obs}$  为障碍物到机器人最近的点  $d(q, q_{obs})$  为机器人到障碍物最小的距离,  $d_0$  为障碍物的影响范围.相应的斥力为斥力势场函数的负梯度

$$F_{req}(q) = -\nabla U_{req}(q) = \begin{cases} \eta \left( \frac{1}{d(q, q_{obs})} - \frac{1}{d_0} \right) \frac{1}{d^2(q, q_{obs})} \frac{q - q_{obs}}{d(q, q_{obs})} & d(q, q_{obs}) \leq d_0 \\ 0 & d(q, q_{obs}) > d_0 \end{cases}$$

机器人所受的合力

$$F_{total} = F_{att}(q) + F_{req}(q)$$

### 2 改进的人工势场法

传统的人工势场法一般应用于单个机器人的

路径规划,且存在局部极小点<sup>[12]</sup>问题.当应用于多机器人的路径规划时,由于每个机器人的避障算法相同,有时会导致机器人之间的反复避障,严重时甚至产生死锁<sup>[13]</sup>.针对上述2个问题,引入虚拟目标点法和自适应优先权策略以改进传统人工势场法.

#### 2.1 虚拟目标点法

当机器人在运动过程中陷入局部极小点时,通过算法在原目标点周围产生一个虚拟目标点.由于机器人陷入局部极小点时,机器人所受的合力为0,当增加虚拟目标点后,机器人所受的合力不为0,这样机器人就在障碍物、原目标点和虚拟目标点的合力作用下向目标点运动.当机器人走出局部极小点后撤销虚拟目标点,机器人就在障碍物和原目标点的作用下向目标点运动.增加虚拟目标点后,机器人的受力分析如图1所示.

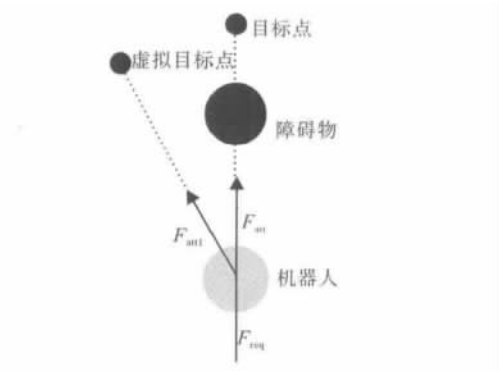


图1 虚拟目标点受力分析

#### 2.2 自适应优先权策略

为了实现多机器人之间的避障,必须解决机器人之间的最小安全距离问题和各个机器人之间的优先权问题.机器人在最小安全距离下的优先权高低取决于机器人所承担的任务、速度和大小,机器人的优先权方程为

$$priority_i = V_i \times T_i \times Size_i \tag{1}$$

其中  $priority_i$  是机器人  $i$  的优先权,  $V_i$  是速度,  $T_i$  是任务的重要性,  $Size_i$  是机器人的大小.

当2个或多个机器人相遇时,会根据公式①来确定机器人运动的优先权,优先权高的机器人先通过.但是当2个机器人的优先权相同时,可以参考以下的策略来实现机器人之间的规避: 1) 根据2个机器人之间任务的重要性,来决定机器人之间的优先权,任务重要性高的机器人,优先通行; 2) 如果机器

人之间的任务重要性相同,那么就根据机器人的速度来决定机器人之间的优先权,速度大的机器人优先通行; 3) 如果机器人的任务重要性和速度都相同,那么机器人就随机产生优先权,优先权高的机器人优先通行.

### 2.3 改进人工势场法具体步骤

针对人工势场法存在局部极小点和多机器人之间的避障问题,本文采用虚拟目标点来解决人工势场法的局部极小点问题,同时采用自适应优先权策略来实现多机器人之间的避障.改进的适应人工势场法的流程图如图 2 所示.

如图 2 可知,首先进行初始化,然后根据机器人当前位置判断机器人是否到达了目标点,若到达目

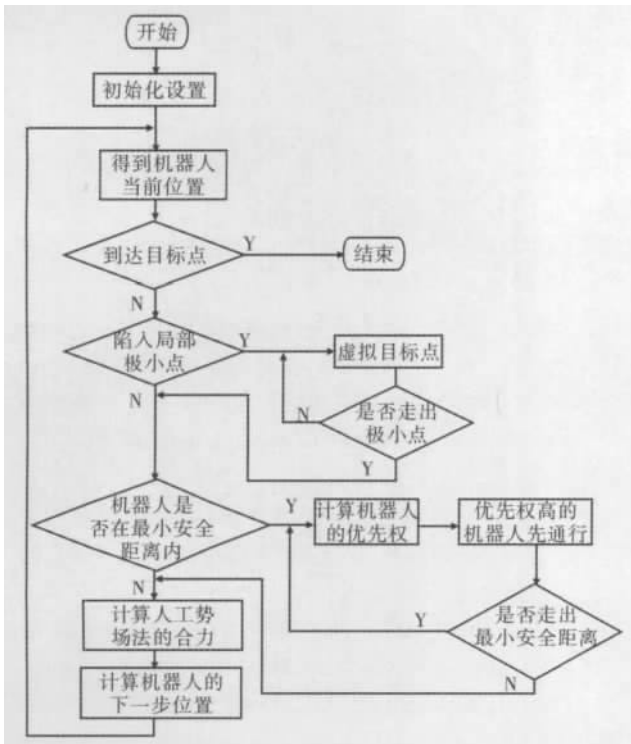


图 2 改进的人工势场法

标点,则循环结束.若没有到达目标点,则判断机器人是否陷入局部极小点,若陷入局部极小点,则用虚拟目标点法走出极小点.然后判断机器人之间的距离是否在最小安全距离之内,若在最小安全距离之内,则进行优先权判决,决定哪个机器人优先通行.最后,根据人工势场法计算机器人下一步的位置.

### 3 仿真实验

为了证明该方法的有效性,进行了 2 个仿真实验.实验 1 来证明虚拟目标点法可以解决局部极小值点问题,实验 2 是根据自适应优先权策略来实现机器人之间的规避.实验参数设置如下,引力常数  $\epsilon = 1$ ,斥力系数  $\eta = 10$ ,障碍物影响范围  $d_0 = 2 \text{ cm}$ ,机器人的移动速度  $v = 25 \text{ cm/s}$ .

1) 当机器人陷入局部极小点时,采用虚拟目标点法可以使机器人走出局部极小点,从而到达目标点.机器人陷入局部极小点的情况如图 3a) 所示,图 3b) 是采用虚拟目标点使机器人走出局部极小点的情况.

2) 多机器人之间的避障分为 2 种情况:当机器人之间没有交叉时,每个机器人根据各自的人工势场法到达自己的目标点,仿真结果如图 4a) 所示;当机器人之间有交叉时,要设置每个机器人的优先权,优先权高的机器人优先通行,仿真结果如图 4b) - f) 所示.其中机器人的优先权如下,机器人 3 > 机器人 2 > 机器人 1.

机器人 1 和机器人 3 相遇的情况下,机器人 3 优先通行,仿真结果如图 4b) 和 4c) 所示.机器人 1 和机器人 2 相遇的情况下,机器人 2 优先通行,仿真结果如图 4d) 和 4e) 所示.图 4f) 证明了该方法可以实现多机器人之间的路径规划.该方法和一般的智能优化算法相比,如粒子群优化算法<sup>[14]</sup>,具有计算量小、实时性强等优点.

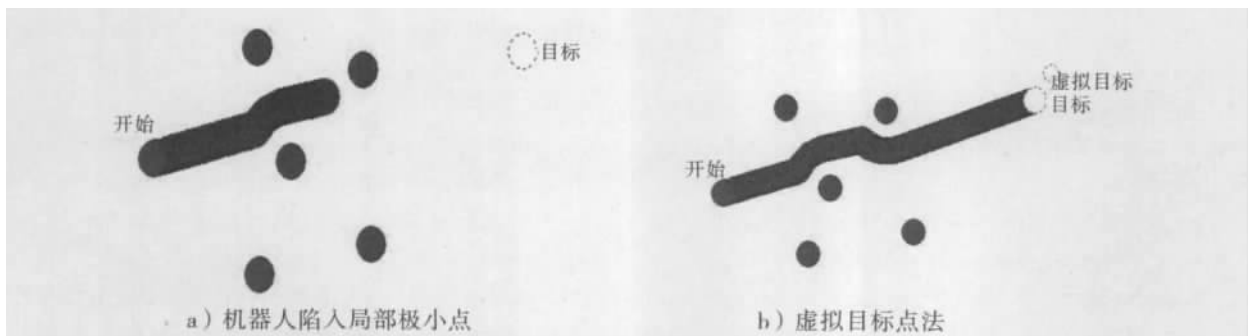


图 3 实验 1 仿真结果

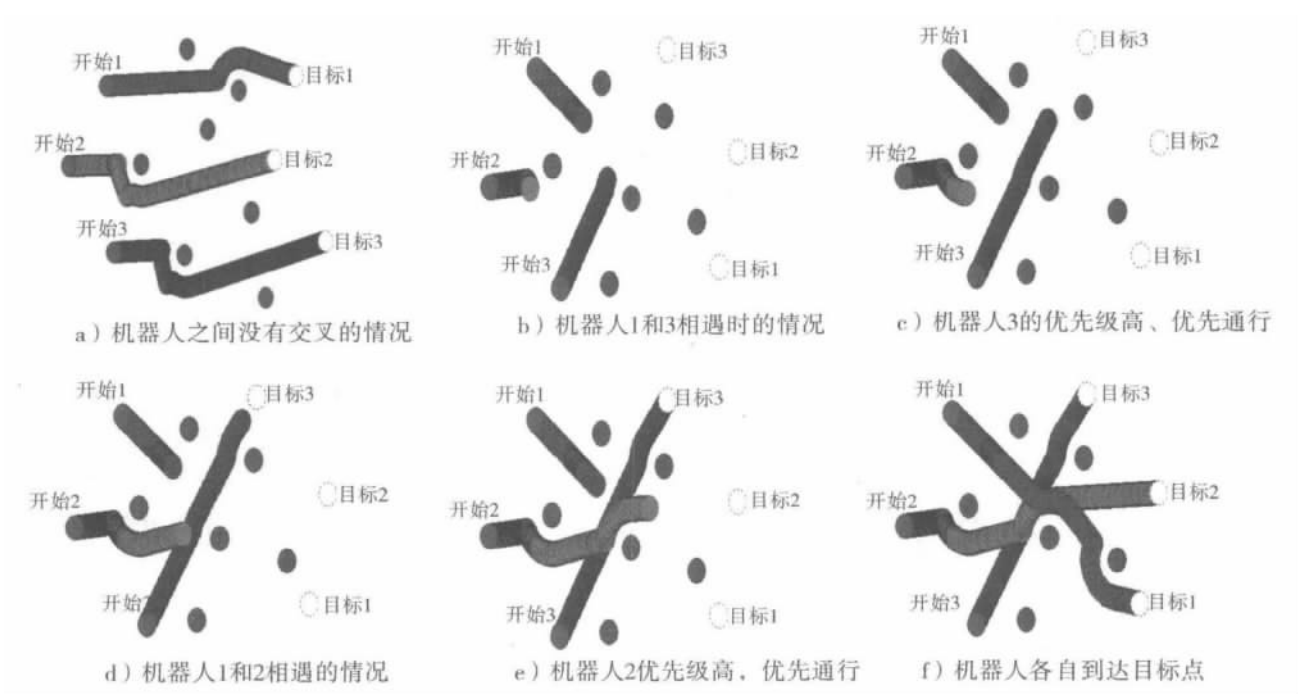


图4 实验2 仿真结果

### 4 结论

本文提出了一种改进的多机器人路径规划人工势场法. 该方法针对人工势场法的局部极小点问题, 提出了虚拟目标点法解决极小点问题; 同时对多机器人之间的避障问题, 提出了自适应优先权策略来实现多机器人之间的避障. 经过仿真实验, 验证了改进算法的有效性和可行性.

#### 参考文献:

[1] 殷路, 尹怡欣. 基于动态人工势场法的路径规划仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(11): 3325.

[2] 朱庆保, 张玉兰. 基于栅格法的机器人路径规划蚁群算法[J]. 机器人, 2005, 27(2): 133.

[3] Ge S S, Cui Y J. New potential functions for mobile robot path planning [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2000, 16(5): 615.

[4] Zhao Jie, Yu Zhenzhong, Yan Jihong, et al. Mobile robot path planning method combined improved artificial potential field with optimization algorithm [J]. High Technology Letters, 2011, 17(2): 160.

[5] Luo X, Fan X P, Yi S, et al. A novel genetic algorithm for robot path planning in environment containing large numbers of irregular obstacles [J]. Robot, 2004, 26(1): 135.

[6] Ni B, Chen X, Zhang L M, et al. Recurrent neural network for robot path planning [J]. PDCAT, 2004, 8(1): 188.

[7] 过金超, 刘征, 崔光照. 基于人工免疫网络理论的移动机器人路径规划[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2012, 27(4): 1.

[8] Fazli S, Kleeman L. Wall following and obstacle avoidance results from a multi-DSP sonar ring on a mobile robot [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Niagara Falls: IEEE, 2005: 432.

[9] 程拥强, 蒋平, 朱劲, 等. 用势场法改进的极限环导航方法在移动机器人中的应用 [J]. 机器人, 2004, 26(2): 133.

[10] Mabrouk M H, McInnes C R. Solving the potential field local minimum problem using internal agent states [J]. Robots and Autonomous Systems, 2008, 56(12): 1050.

[11] Khatib O. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots [J]. International Journal of Robotics Research, 1986, 5(1): 90.

[12] 张明开, 李龙澍. 关于人工势场法局部极小问题的一种解决方法 [J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(5): 137.

[13] Zu L N, Tian Y T, Liu J F. Algorithms of task-allocation and cooperation in multi mobile robot system [C]// Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, New York: IEEE, 2004: 2841.

[14] 丁华胜, 王华忠. 基于 PSO 的人工势场法在移动机器人路径规划中的应用 [J]. 华东理工大学学报: 自然科学版, 2010, 36(5): 727.