

基于场分布探测值多边形匹配的搜索策略

谢彦春 潘欣裕 王 俭

(苏州科技大学电子与信息工程学院 苏州 215009)

摘要 介绍一种改进的面向地下气体源搜索的策略。该策略基于土壤表层四点浓度探测值多边形的路径规划,运用计算机模拟移动机器人在三维地表依靠单个传感器多点巡回测量值或多个传感器多点同时测量值,来规划出可动态调整步长的搜索路径。该策略在烟羽发现、气味跟踪和气体源定位几个方面均呈现出较好性能。

关键词 气味,浓度,嗅觉,发现,跟踪,定位,策略

中图法分类号 TP242.6 文献标识码 A

Odor Source Searching Strategy on Basis of Detected Concentration Polygon

XIE Yan-chun PAN Xin-yu WANG Jian

(School of Electronics and Information, Suzhou University of Science & Technology, Suzhou 215009, China)

Abstract An improved path planning strategy of four detecting points for searching for odor source in earth, based on the concentration polygon consisting of detected values, was introduced. By using the strategy, a mobile robot with single gas sensor performing circulation detection and a robot with multiple gas sensors performing simultaneous detection both can give out searching path whose step size is dynamically adjustable. Computer simulation results show that the strategy performs well in odor plume detection, odor tracing and odor source localization.

Keywords Odor, Concentration, Olfaction, Finding, Tracing, Positioning, Strategy

对于搜索地下气体源位置,可以借助移动机器人主动嗅觉及路径规划来完成。国外的 Holland 等^[1]、Russell 等^[2]、Lilienthal 等^[3,4],以及国内的很多学者^[5-11]都在此领域做了理论和实验探索,并取得了有价值的结论和成果。上述文献的方法大多具有单测量探头、算法偏于复杂的特点,也有多机器人协调搜索的方法。本文则试图在携带多测量探头的单机器人低复杂度算法上进行探索。

四点探测最大方向气味跟踪策略及其算法实现具有简单、易于实现的特点,在非正式报道中有极其粗略的介绍,关于其性能和应用的介绍则几乎没有。为了丰富机器人的气体源搜索方法,本文借助计算机仿真手段,模拟多种非理想扩散情况及在该情况下上述策略的应用结果,分析并归纳出该策略的若干性能,再根据仿真路径挖掘出路径收敛与浓度探测值分布多边形的关系,提出基于浓度探测值分布四边形匹配的改进策略并予以仿真验证,为以自主移动机器人平台的气体源搜索任务的进一步研究做必要的前期工作。

1 传统四点探测最大方向跟踪策略及其算法

1.1 策略及算法描述

图1是机器人在四点探测最大方向跟踪策略规划下的路径示意图。当机器人由点位 $i-1$ 移动到点位 i 后,测量以该点位为中心、以 $m^{(i)}$ 为边长的正四边形4个顶点处的浓度值 $N_1^{(i)}$ 、 $N_2^{(i)}$ 、 $N_3^{(i)}$ 、 $N_4^{(i)}$,经比较得浓度最大值的顶点,并向

该顶点方向前进 $l^{(i)}$ 距离,到达点位 $i+1$ 。下面是该策略相应算法核心部分的简单描述:

```
repeat{
  if
     $N_k^{(i)} = \max(N_1^{(i)}, N_2^{(i)}, N_3^{(i)}, N_4^{(i)}), k=1, 2, 3, 4$ 
  then
    转向顶点 $k$ 方向并前进 $l^{(i)}$ 距离
}
```

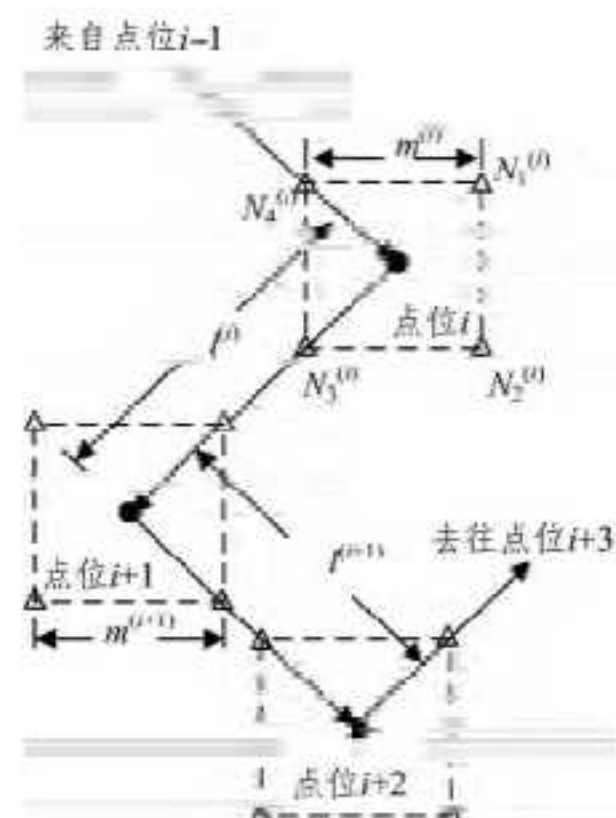


图1 算法规划所得路径示意

1.2 策略的性能

1.2.1 仿真环境设置

仿真方案参照文献^[10,12]设计,模型采用文献^[2]给出

本文受国家自然科学基金(61372146),江苏省教育厅产业化项目,智能型液体泄漏监测仪的产品化研究(310911602),江苏省研究生创新项目(CZXX12-0815)资助。

谢彦春(1992—),男,主要研究方向为智能信号处理;潘欣裕(1981—),男,博士生,讲师,主要研究方向为语音信号处理;王 俭(1956—),男,硕士,教授,主要研究方向为移动机器人路径规划与导航,E-mail: wangjiansuzhou@mail.usts.edu.cn。

的距离和浓度关系实测值,及唐波等人^[12]根据该实测值拟合得到的理想浓度的回归方程,如下:

$$N_{ideal}(x) = -0.0004x^3 + 0.0034x^2 - 0.0302x + 4.9893 \quad (1)$$

其中, x 是测点与气体源的距离, N_{ideal} 为测点处的理想浓度值。加入随机偏差的实际浓度 N_{true} , 见式(2)。

$$N_{true}(x) = N_{ideal}(x) \pm a \exp(bx) \quad (2)$$

其中, 参数 a 、 b 决定偏差大小, 在实际中取决于土壤种类。图2是一组 a 、 b 参数下对应的实际浓度和浓度均值分别与距离的关系。

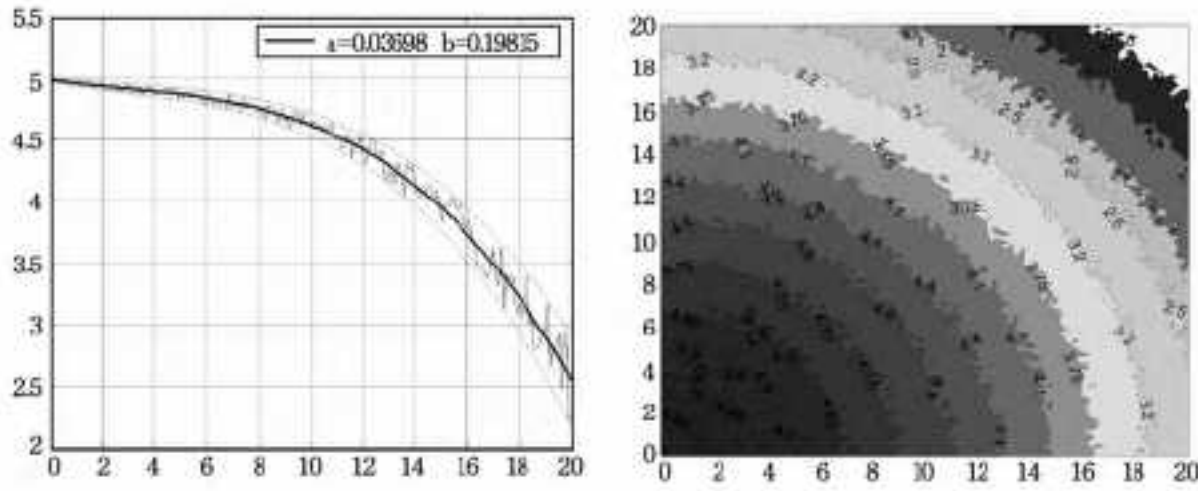


图2 实际浓度随气味源的变化

1.2.2 浓度偏差的影响

取步长为1, 浓度检测半径为0.5。在一定浓度偏差范围内, 搜索路径如图3(a)所示。随着偏差增大, 路径的收敛情况变差, 当偏差超过临界值以后, 机器人就基本找不到气体源了(见图3(b))。必须指出, 本文此处选择的偏差比文献^[2, 12]的要大。

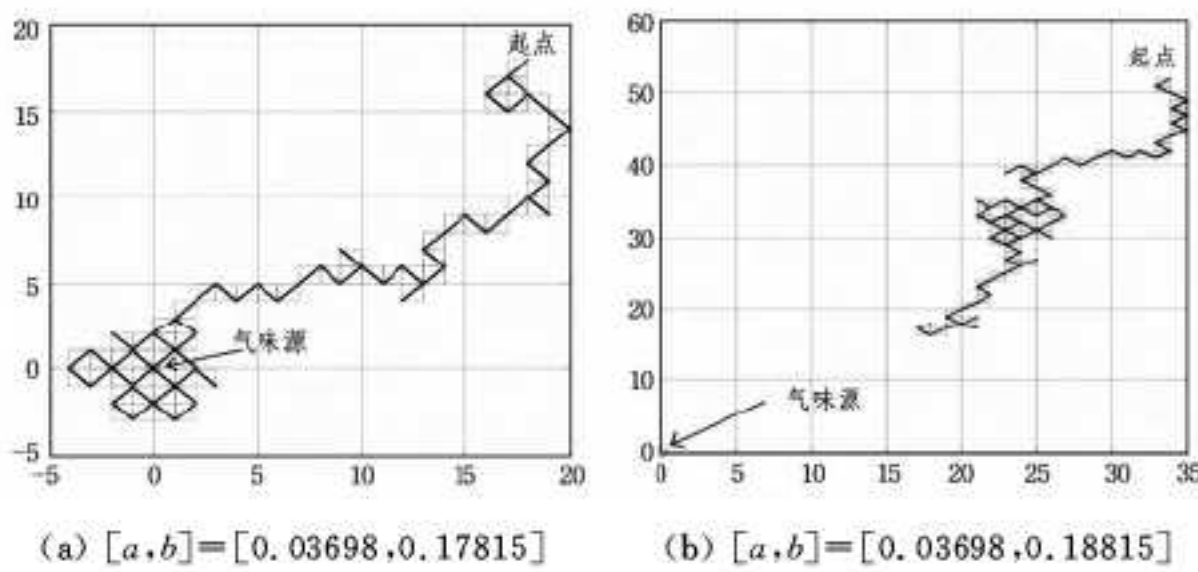


图3 不同随机浓度偏差下的典型搜索路径

1.2.3 主要功能讨论

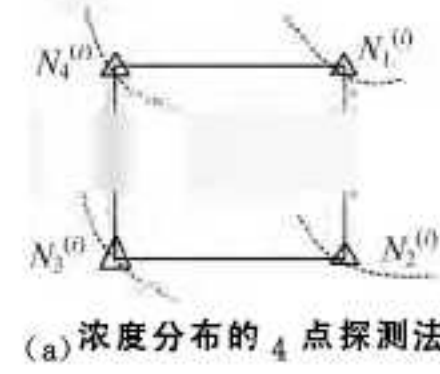
在浓度参数逐步加大的条件下进行了两组仿真, 每组包括100次, 结果及讨论如下: (1) 在每100次仿真结果中, 只有1—2次的初始步方向与气体源方向相反, 平均25次的初始步与气体源方向垂直, 其余约73—74次的初始步朝向气体源方向, 这说明传统策略具有较好的气味烟羽发现功能; (2) 整个搜索路径的中段均呈现明确的气味源指向, 说明此策略在气味跟踪这一功能上具有明显优势; (3) 搜索行为最后的徘徊区域的半径均小于5个步长, 说明此策略在气体源定位这一功能上具有明显优势; (4) 气味浓度偏差包络线与均值之差大于机器人的浓度检测半径之后(见图2), 传统策略根据四点探测最大值决定跟踪方向极易出现错误, 不仅在下一步的方向上, 而且在接连几步的方向上均出现错误决策, 导致失去目标(见图3(b))。

2 策略的改进

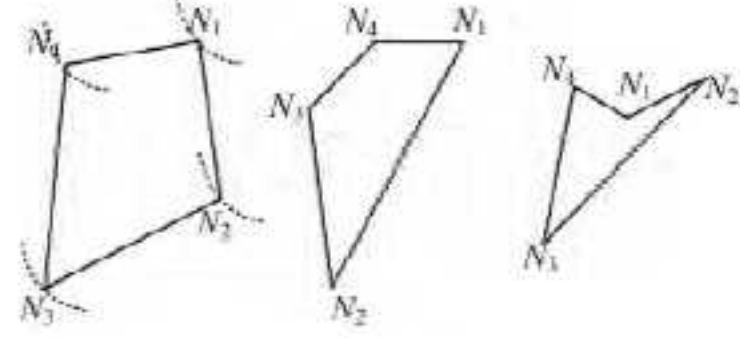
2.1 浓度探测值多边形

从图4可见, 对于理想浓度扩散造成的分布, 第 i 步的四点探测值将构成一个箐型, 其特征是 $N_1 = \max\{N_i | i=1, 2,$

$3, 4\}$ 且 $N_3 = \min\{N_i | i=1, 2, 3, 4\}$, 简言之, 如果 N_i 最大, 则最小必是 N_{i+2} 。随着随机浓度偏差的逐步增大, 箐型将逐步退化为一般的凸多边形, 甚至变异为凹多边形。如果仅仅按照传统策略朝着探测值最大方向进行跟踪, 势必会失败。



(a) 浓度分布的4点探测法



(b) 不同浓度偏差构成的探测值多边形

图4 浓度偏差程度与探测值多边形

2.2 探测半径与探测值多边形的关系

在 $a=0.03698$ 、 $b=0.18815$ 大浓度偏差下将探测半径从原先的0.5增加为1.6, 步长仍然保持为1, 于是浓度探测值多边形的箐型率从原来的0%增加到约40%, 按照最大探测值方向跟踪的策略与探测值箐型最大值的方向几乎完全吻合, 结果路径收敛率也同时从原来的0%增加到约39%。图5是收敛与发散的两例路径。显然, 按照箐型最大值方向行走的绝大部分步履都是朝向气体源的, 而方向错误的步履几乎都是在非箐型出现的情况。可见, 浓度探测值构成箐型是传统策略有效并可靠的一个必要条件。

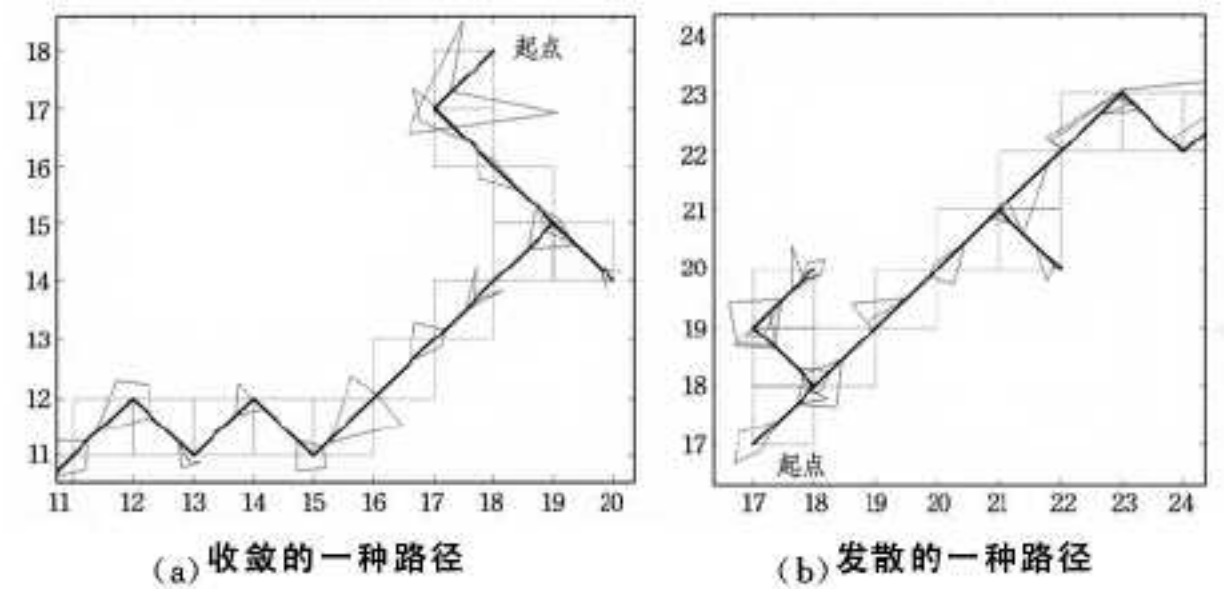


图5 加大探测半径后在大浓度偏差下显示行走方向与探测值多边形关联的两例路径

2.3 可变测距与步长

根据式(2)揭示的远距离对应大偏差、近距离对应小偏差的浓度分布规律, 按式(3)

$$d^{(i+1)} = d^{(i)} + d_{mc} \quad (3)$$

或式(4)

$$d^{(i+1)} = d^{(i)} - d_{dec} \quad (4)$$

决定测距的大小, 其中取 d_{mc} 大于 d_{dec} 。

按照式(5)

$$l^{(i+1)} = l^{(i)} \cdot \frac{d^{(i-1)} + k \cdot d_{dec}}{d^{(i-1)}} \quad (5)$$

或式(6)

$$l^{(i+1)} = l^{(i)} \cdot \frac{d^{(i-1)} - (j-1) \cdot d_{dec}}{d^{(i-1)}} \quad (6)$$

决定步长的大小。

图6是改进后算法决定搜索途中第 i 步测距和步长的框图描述。

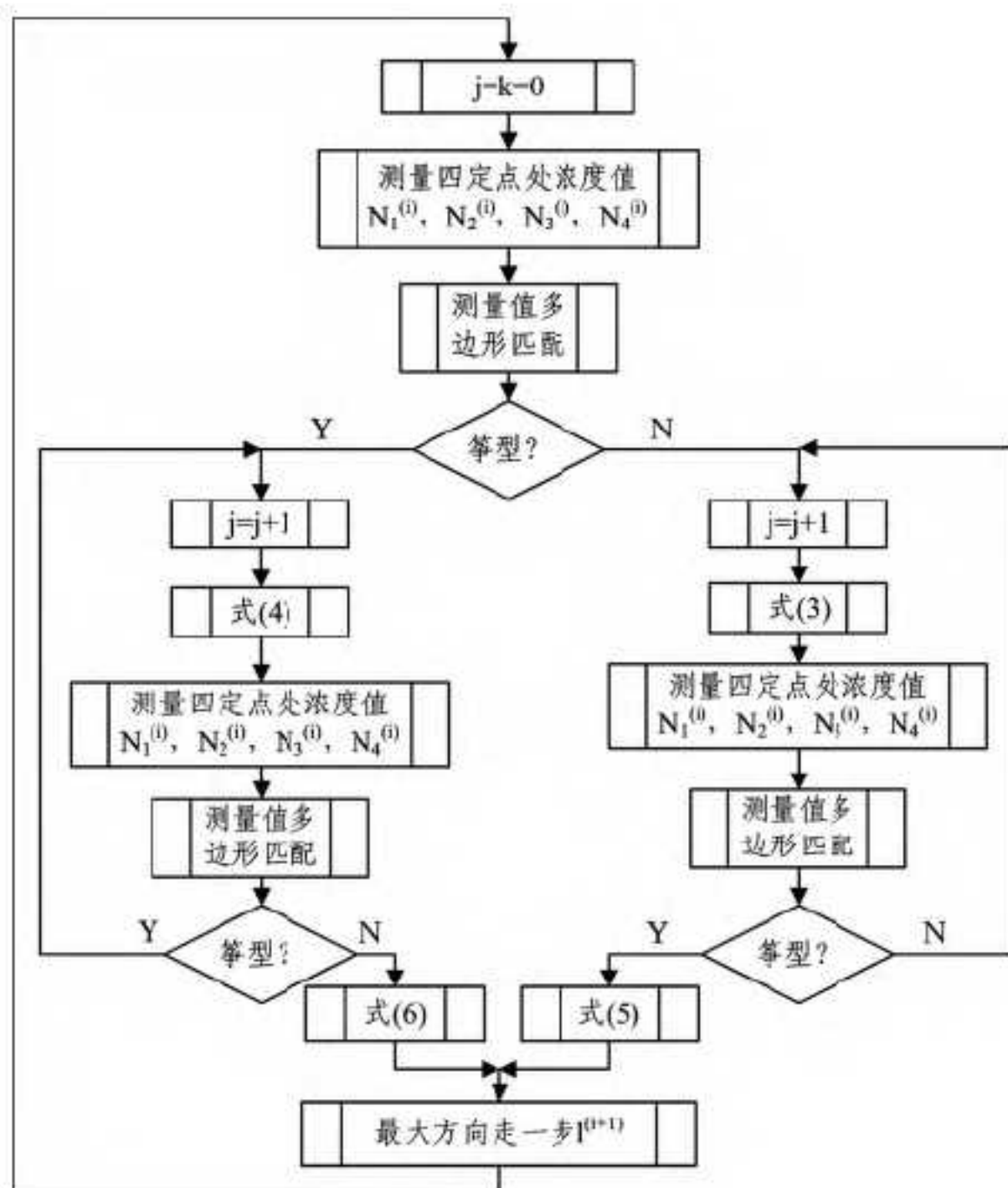


图6 动态调整测距和步长的算法描述

3 改进策略的效果

考虑行走机构不一致性和地表不平坦影响下的搜索路径效果如图7所示。

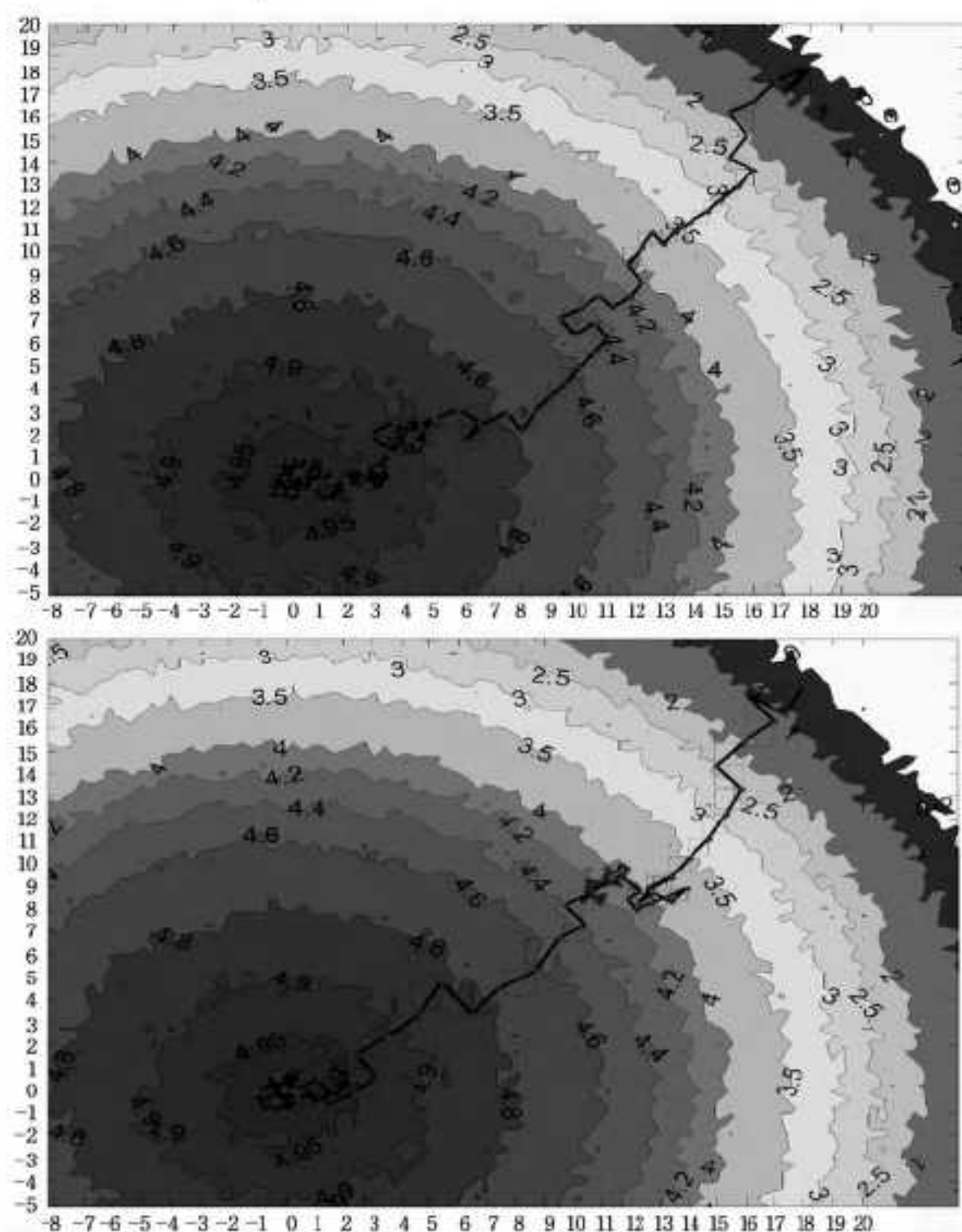


图7 考虑行走机构不一致性和地表不平坦影响下的搜索路径

设浓度 $a=0.03698, b=0.17815$, 取初始步长为1, 初始探测半径为0.5, $d_{inc}=0.1, d_{dec}=0.05$, 分别依照改进前和改进后的策略进行气体源搜索的仿真。在平坦地表情况的结果是, 改进前的收敛比例是40%左右, 而改进后的收敛比例达到92%左右。考虑机器人本体行走机构的不一致性和不平坦地表, 在行进中随机加入左右转向的 20° 角以内偏差, 以模拟其效果, 结果表明收敛性能甚至收敛速度不受什么影响(见图7)。

结束语 对四点探测最大方向跟踪策略的改进策略是, 基于4个等距探测值的分布四边形的形状特征, 调整探头测距, 在探测值四边形满足特殊条件即筝型的情况下, 参考上一次测距和上一步步长, 对步长做出调整, 并按新的步长向着最大探测值方向行走一步。仿真表明, 改进策略对原有策略在气味烟羽发现、气味跟踪、气体源定位3个主要性能上均有明显改进。当然, 改进策略对硬件实现的要求是机器人携带的探头的臂长应具有可伸缩功能。

参考文献

- [1] Holland O, Melhuish C. Some Adaptive Movements of Animates with Single Symmetrical Sensor [C] // From Animals to Animates 4: Proceedings of the Fourth International Conference on Simulation of Adaptive Behavior, Cambridge: MIT Press, 1996: 55-64
- [2] Russell R A. Chemical Source Location and the RoboMole Project [C] // Australasian Conference on Robotics and Automation, CD-ROM Proceedings, 2003
- [3] Lilienthal A, Reimann D, Zell A. Gas Source Tracing with a Mobile Robot Using an Adapted Moth Strategy [C] // Proceedings of American Mathematical Society 2003, Berlin, New York: Springer, 2003: 150
- [4] Lilienthal A, Duckett T. Building Gas Concentration Gridmaps with a Mobile Robot [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2004, 48(1): 3-16
- [5] 孟庆浩, 李飞. 主动嗅觉研究现状 [J]. 机器人, 2006, 28(1): 89-96
- [6] 孟庆浩, 李飞, 张明路, 等. 湍流烟羽环境下多机器人主动嗅觉实现方法研究 [J]. 自动化学报, 2008, 34(10): 1281-1290
- [7] 李俊彩, 孟庆浩, 梁琼. 基于进化梯度搜索的机器人主动嗅觉仿真研究 [J]. 机器人, 2007, 29(3): 234-238
- [8] 张小俊, 张明路, 孟庆浩, 等. 一种基于动物捕食行为的机器人气味源定位策略 [J]. 机器人, 2008, 30(3): 265-272
- [9] 蒋萍, 孟庆浩, 曾明, 等. 融合机器人视/嗅觉信息的室内气体源识别 [J]. 高技术通讯, 2011, 21(8): 867-872
- [10] 王阳, 孟庆浩, 李腾, 等. 室内通风环境下基于模拟退火算法的单机机器人气味源定位 [J]. 机器人, 2013, 35(3): 283-291
- [11] 王俭, 季剑岚, 陈卫东. 基于行为特征的机器人变步长气味源搜索算法 [J]. 系统仿真学报, 2009, 24(17): 5427-5430, 5435
- [12] 唐波, 王俭, 季剑岚. 一种机器人气味源跟踪算法的性能分析 [J]. 苏州科技学院学报, 工程技术版, 2008, 21(2): 68-71

(上接第97页)

- [12] 焦娜. 基于相容粗糙集的改进的基因特征选择方法 [J]. 计算机科学, 2013, 40(Z6): 125-128, 140
- [13] 张文修, 等. Rough 集理论与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2001
- [14] 王国胤. Rough 集理论和知识获取 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001

- [15] 徐章艳, 刘作鹏, 杨炳儒, 等. 一个复杂度为 $\max(O(|C||U|), O(|C|^2|U/C|))$ 的快速属性约简算法 [J]. 计算机学报, 2006, 29(3): 391-399
- [16] Newman D J, Hettich S, Blake C L, et al. UCI repository of machine learning databases [OL]. <http://www.ics.uci.edu/~ml-learn/MLRepository.html>