

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.03.009

室内移动机器人搜索人的算法设计

唐 烨

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘 要:针对室内环境中经常出现的移动机器人搜索人的问题,设计并实现了一种在栅格地图基础上基于改进的遗传算法和A*算法进行路径规划的算法。移动机器人采用开源机器人操作系统(ROS)框架,在SLAM的基础上完成机器人自定位以及校准、路径规划和导航。对室内环境栅格地图应用单元分割法得到一系列以障碍物分割开的子区域,应用遗传算法规划最优的区域间转移序列,同时使用A*算法进行两点之间的导航规划。仿真与实验结果证明:该算法可以在已知的室内环境中提供最优化的搜索路径,在短时间内完成找到人的任务。

关 键 词:室内移动机器人;机器人操作系统;A*算法;遗传算法

中图分类号:TP242

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2017)03-0040-06

Design and Implementation of Human Search Algorithm for Mobile Robot Search in Indoor Environments

TANG Ye

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the problem of mobile robot searching human in indoor environment, a grid model was built and a path planning method based on the modified genetic algorithm and improved A* algorithm was proposed. The mobile robot adopted open source robot operating system, completing autonomous positioning, calibration, path planning and navigation based on SLAM. The grid map was divided into several unit regions by using boustrophedon cellular decomposition. Then, a unit region planning method based on genetic algorithm was applied to generate the region transition sequence. Meanwhile, the optimal path between two points was generated by improved A* algorithm. The simulation and experiment results verify that this method can provide the optimized search path in the known indoor environment effectively and find human in a short time.

Keywords: indoor mobile robot; ROS(robot operating system); A* algorithm; genetic algorithm

近年来,随着机器人技术的蓬勃发展,智能家居越来越成为研究热点,室内服务移动机器人也得到了广泛的关注^[1-2]。在家居环境的实际应用场景中,室内智能机器人不仅可以在老年人的生理和心理健康方面发挥重要作用^[3],而且可以用于医疗机构对患者的远程检查^[4]。

室内移动机器人各项功能的实现大多涉及与人的交互,当目标人物不在机器人附近时,首要解决的问题是确定人的位置。课题组目前的一些研究成果提供了基于环境PIR传感器的人体定位系统,可以缩小机器

人的搜索空间^[5]。同时,在没有PIR传感器先验信息的情况下,智能机器人也必须具有规划出全局搜索路径探索整个环境来完成找人任务的能力。

本文以搜索时间最短为目标,设计了一种在栅格地图基础上基于改进的遗传算法和A*算法进行路径规划的算法,实现在已知的室内环境中提供最优化的搜索路径,在短时间内完成找到人的任务。

1 室内移动机器人软硬件平台

本文的室内移动机器人采用ROS框架^[6],在即时定位与地图构建(simultaneous localization and

收稿日期:2016-12-07;修回日期:2017-02-07

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61328302)。

第一作者简介:唐烨(1993),男,湖南邵阳人,硕士研究生,主要从事移动机器人、路径规划研究。E-mail: mingyetang@foxmail.com

mapping, SLAM)^[7]的基础上完成机器人自定位以及校准、路径规划和导航等。室内移动机器人软硬件平台系统框架如图 1 所示。

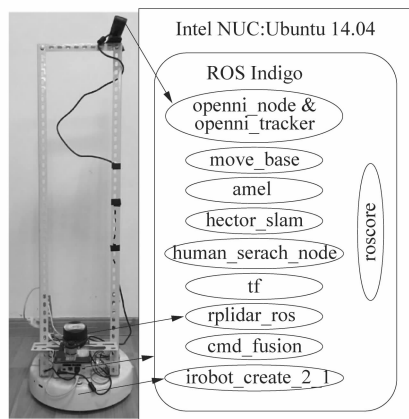


图 1 移动机器人软硬件平台系统框架

Figure 1 Hardware and software platform structure of mobile robot

硬件平台以 Intel NUC 微型计算机作为运行机器人软件系统的中控主机,设备驱动、信息收发和控制算法节点都在此运行,并且可以实现远程操控;iRobot Create 作为移动底盘;搭载的传感器设备包括激光测距仪 RPLIDAR 和华硕 Xtion PRO Live 传感器。

机器人软件系统基于 ROS 平台,按照分布式架构开发特定功能的程序包来进行硬件的驱动、数据的计算、程序间的消息传递、指令的处理等操作,具体包括:irobot_create_2_1 包来驱动 iRobot Create;rplidar_ros 包来驱动激光测距仪 RPLIDAR A1M1;openni_node 和 openni_tracker 来与 Xtion PRO Live 交互;tf 包来进行坐标系的转换;Cartographer 和 hector_slam 来完成 SLAM;基于自适应蒙特卡洛方法的 amcl 包用来对机器人进行自主滤波定位;move_base 用于机器人的路径规划和导航;teleop_twist_keyboard 和 joy_stick 分别实现外接键盘和手柄控制机器人的移动。

2 机器人搜索人的算法设计

本文中算法的设计目标是规划一条时间最短搜索路径,使得室内移动机器人能在已知的家居环境中有效的确定人的坐标。

由于视觉传感器具有有限的检测范围,在将已知的静态地图适当地划分为若干单元区域^[8]之后,机器人在每个区域中的检测可以看作是区域覆盖问题,而机器人在子区域之间的转移序列规划是不对称的旅行推销员问题(travelling salesman problem, TSP)^[9]。因此,本文在使用 Boustrophedon 单元分割法得到子区域

后,提出一种改进的遗传算法来完成区域转移序列的规划任务,并讨论如何改进 A* 算法以优化两点之间的路径规划。

2.1 单元分割法处理环境模型

由于二维栅格模型可以简单有效地表示静态环境,大大降低建模的复杂性,便于计算机存储和处理,并且防止部分可行路径丢失,文中选择此方法来对环境建模。考虑到机器人搭载的视觉传感器的检测范围,为了充分利用好地图信息,对静态地图进行单元分割得到一系列不含障碍物的小区域是必须的步骤。

本文中采用的 Boustrophedon 单元分割是由 Choset. H 和 Pignon. P 在改进 Trapezoidal 分解法的基础上提出的。首先设定一条有方向切线,按照从左至右(从上至下)的顺序扫描环境地图,切线扫过区域的连通性发生改变时会生成新的单元:当连通性增加时,旧单元结束,多个新的单元生成;而连通性减少时,多个旧单元结束,新单元生成。分割后的栅格地图模型如图 2 所示。

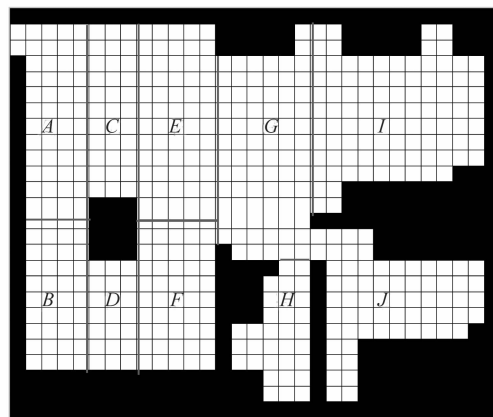


图 2 单元分割处理得到栅格地图模型

Figure 2 Establishment of grid map model with regional division

2.2 遗传算法得到最优区域转移序列

区域转移序列规划问题是一个不对称的 TSP 问题,最坏的情况需要机器人遍历所有的区域,并且每个区域仅遍历一次。遗传算法作为一种优化方法,由于其良好的鲁棒稳定性,也已经成为机器人路径规划问题的主要研究方向之一,可应用于各种问题,包括许多 NP-hard 问题。笔者在以下几个方面改进了传统的遗传算法,以解决实际问题。

2.2.1 编码方式

将每一个区域转移序列编码成遗传算法的染色体形式,可以采用通常用于解决排序问题(TSP 问题和调

度问题)的交换编码方式。在将基因 0 ~ 9 分别编码为图 2 中所示的区域 A ~ J 之后,一个含有 10 个基因的染色体就可以代表一种区域转移序列,如基因串 [3,2,5,7,8,0,6,1,9,4] 表示区域序列 [D,C,F,H,I,A,G,B,J,E]。

2.2.2 适应度函数

考虑到搜索人的指标是时间最优,因此引入距离耗时、转弯耗时和下一个区域中人在的概率作为评价参数,综合起来构造适应度函数

$$f = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{D(k_i, k_{i+1})/v + T(k_i, k_{i+1})/\omega}{P_i \times P_{i+1}}。$$

式中: n 是区域的数量; $D(k_i, k_{i+1})$ 是 2 个相邻节点之间的路径长度; $T(k_i, k_{i+1})$ 是总转弯角度; k_i 和 k_{i+1} 之间的路径由的 A* 算法规划得到; v 和 ω 分别表示机器人的线速度和角速度,可以设定为常值;而 P_i 代表着有人在这个地区的可能性大小。

适应度函数描述了机器人在整个过程中搜索人的时间,其出发点是基于算法设计的主要焦点即让机器人尽快到达目标人物的身边,从而完成各种后续任务。

2.2.3 交叉算子

从 Goldberg 和 Grefenstette 第 1 次使用遗传算法来解决 TSP 问题开始,已经出现多种交叉方法来提高收敛速度并寻求更好的结果,例如部分匹配交叉 (partially matched crossover, PMX) 和有序交叉 (order crossover, OX) 等^[10]。但面对文中的不对称 TSP 问题时,由于每个编码区域必须在交叉之前和之后出现并且仅出现 1 次,所以许多传统方法不能很好地完成工作,除了三交换交叉启发式算法^[11]。

三交换交叉启发式算法选择 3 个染色体作为亲本,通过计算适应度代价,并顺序选择 1 个最小成本编码来生成 1 个后代。当 3 个亲本为

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 & 4 & 8 & 7 & 6 & 5 & 0 & 9 \\ 2 & 4 & 9 & 6 & 8 & 0 & 1 & 3 & 5 & 7 \\ 8 & 6 & 0 & 5 & 3 & 4 & 9 & 2 & 7 & 1 \end{bmatrix}。$$

其中适应度值为 $f_a = 42$, $f_b = 40$, $f_c = 46$ 。首先,随机选择 1 个区域作为初始区域,并对 3 个亲本进行右旋转,例如使区域 D 成为染色体中的第 1 个基因。则有

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 2 & 1 & 4 & 8 & 7 & 6 & 5 & 0 & 9 \\ 3 & 5 & 7 & 2 & 4 & 9 & 6 & 8 & 0 & 1 \\ 3 & 4 & 9 & 2 & 7 & 1 & 8 & 6 & 0 & 5 \end{bmatrix}。$$

分别计算每个亲本的前两个区域之间的成本,并选择最小的一个来生成子染色体。此处, $f(3,2) >$

$f(3,5) > f(3,4)$, 则区域 F 将是子染色体的第 2 个基因,3 个亲本可以更新为

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \times & 5 & 0 & 9 & 2 & 1 & 4 & 8 & 7 & 6 \\ \times & 5 & 7 & 2 & 4 & 9 & 6 & 8 & 0 & 1 \\ \times & 5 & 4 & 9 & 2 & 7 & 1 & 8 & 6 & 0 \end{bmatrix}。$$

以此类推,即得到 3 个亲本经过交叉算子生成的子染色体

$$O = [3 \ 5 \ 7 \ 6 \ 0 \ 4 \ 8 \ 9 \ 2 \ 1]。$$

通过这种交叉算法,可以完全控制分割环境得到的 10 个区域中前 9 个区域的转移代价值,尽管最后一个区域转移的代价无法控制,但从概率学的角度可以论证子代种群整体大概率优于父代。

2.3 A* 算法规划两点最优路径

除了获得区域转移序列之外,在避开障碍物的同时进行两点之间的路径规划是本文的另一个关键任务。现今有许多有效的基于网格法的路径规划算法,如 Dijkstra, A*, D* 和 D* Lite^[12] 算法。其中 A* 算法能确保找到两点间的最佳路径,并可以使用启发式算法来指导寻路过程,在已知的静态环境中更有效^[13]。

然而,由于 A* 算法将栅格地图中每个网格的中心视为一个节点,因此每个节点的相邻节点的数量被限制为 8,这就使得最终路径可能包含远远多于真实最优路径的不必要的转角,如图 3 所示。文中通过平滑处理的方式对 A* 算法得到的路径进行改进,主要包含 2 个步骤:合并共线节点和删除多余拐点。

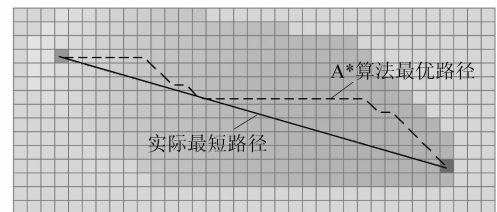


图 3 A* 算法规划的路径与实际最短路径

Figure 3 A* algorithm planning path and real shortest path

1) 合并共线节点。

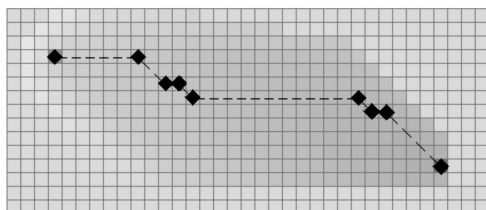
首先确定 3 个节点是否共线,通过比较任何两条线的斜率即可确定。例如,给定 3 个点 L, M, N ,如果线 LM 的斜率等于线 MN 的斜率,则这 3 个点完全共线。当相邻的 3 个节点共线时,除首尾节点以外的中间节点均可以删除。

2) 删除多余拐点。

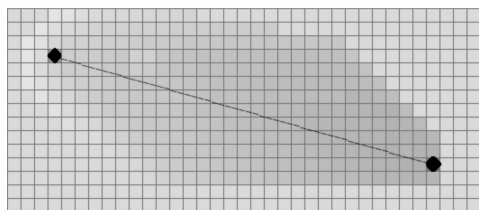
由于两点之间的最短距离是一条直线,因此,当

两个节点构成的直线之间没有障碍物时,可以完全去除两个点的序列中的所有其他节点。其中确定两个点连线上是否有障碍物是任务焦点。

A* 算法路径平滑处理的结果如图 4 所示。图 4 (a) 和 (b) 分别显示了两次操作之后 A* 算法路径的节点。可以看到,结果仅由两个节点组成的最终路径与图 3 中最短路径相同,证明了改进的平滑优化 A* 算法的有效性。



(a) 合并共线节点



(b) 删除多余拐点

图 4 A* 算法路径的平滑处理

Figure 4 Smooth optimization on path of A* algorithm

3 算法的仿真和实验及结果分析

对文中提出的算法进行了仿真和实验,以验证所提出的在已知静态环境中搜索人的路径规划算法的有效性。为了更合理地评估提出算法的性能,在相同的场景中以基准算法作为对照。在基准算法中,机器人执行前后运动,并需要根据需要避开障碍物,并且每个区域内的运动方向与分解时的切线方向一致。

3.1 实验参数和性能指标

仿真和实际实验中均使用真实的机器人参数。室内移动机器人配备有 360° 激光雷达和 RGB-D 视觉传感器。图 1 中的实际移动机器人底盘半径是 0.17 m, 设置机器人的速度 $v = 0.25$ m/s 和角速度 $\omega = 1.0$ rad/s, 视觉传感器的检测半径为 0.8 ~ 3.5 m, 水平方向上检测角度 $\alpha = 1$ rad。实验采用的室内环境地图模型如图 2 所示,当目标人物出现在机器人的检测区域中时,即可认为机器人搜索任务已经完成。

实验中使用 4 个不同的性能指标来比较所提出的算法与基准算法的有效性:

T_{cover} , 搜索整个地图的总时间;

T_{search} , 找到目标人的总时间;

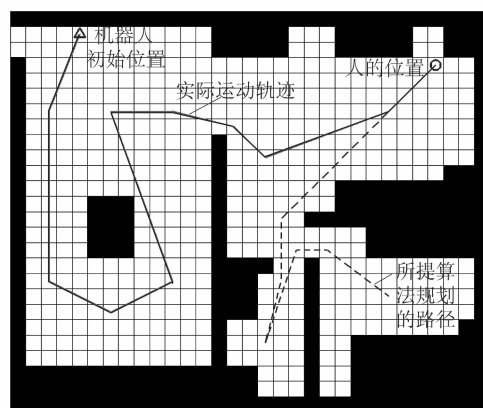
Distance, 路径中机器人移动的总距离;

Angle, 路径中机器人的总转向角。

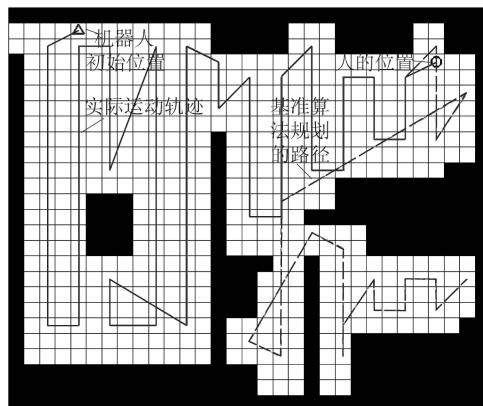
由于该应用中的主要任务是在最短的时间内找到目标人,具有较小距离和角度的算法被认为是更有效的。

3.2 仿真结果

在已知的室内环境中机器人搜索人的仿真结果如图 5 所示。



(a) 笔者提出算法的仿真结果



(b) 基准算法的仿真结果

图 5 2 种算法搜索人的仿真结果

Figure 5 Simulation result of searching human by two algorithms

图 5 中小三角形表示机器人的初始位置,小圆圈代表人的位置,可以是随机生成的任何可通行的地方。虚线表示机器人应用两种路径规划方法来搜索人的移动路径,实线表示机器人在实际条件下的运动路径(找到人时,机器人停止移动)。结果显示扫描整个环境的两条路径显著不同。

笔者提出的算法和基准算法应用 3.2 节中提出的 4 个性能度量进行比较评估,结果如表 1 所示。

表1 2种算法的性能指标对比分析
Table 1 Comparative analysis of performance indexes of two methods

项目	总耗时/s		机器人移动	机器人转动
	搜索地图	搜索目标	总距离/m	总角度/rad
基准算法	410.23	279.83	58.71	44.99
文中算法	183.42	127.55	21.27	52.42
改进率/%	55.3	54.4	63.8	-16.5

表1中,笔者所提算法搜索地图总耗时和搜索目标总耗时的改进是相当显著,只需要不到基准算法时间的50%即可完成寻找人的任务。考虑运行过程中的运动消耗,笔者提出的方法节省了63.8%的距离,

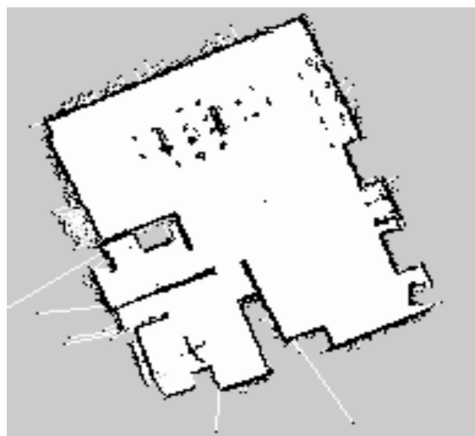
虽然完成扫描搜索区域需要多出16.5%的转角,这是因为机器人的检测过程必须在各个区域中心旋转360°造成的。此外,在不同情况下的大量模拟实验中,对2种算法的性能进行了比较,无论人的位置和机器人初始位置之间的距离如何,笔者提出的方法都比基准方法更有效。

3.3 实验验证

文中实验环境是一个6 m×7 m的实验室,内部用隔板形成家居环境中的各个房间,包括客厅、厨房、卧室和卫生间等,配备有床、餐桌、办公桌椅和沙发等各种家具,实际室内环境以及机器人通过SLAM得到的静态地图如图6所示。



(a) 实际室内多区域家居环境



(b) 机器人SLAM所得静态地图

图6 实际环境与静态地图

Figure 6 Actual environment and static map

实验具体流程:

1) 启动室内服务器,在服务器上远程登录机器人主机,启动全部ROS节点,包括设备驱动、运动控制、地图加载和机器人找人节点等。

2) RPLIDAR测得的激光数据用于机器人导航与避障,华硕Xtion PRO Live视觉传感器用于探测环境中人的存在,在加载好图6中SLAM得到的静态地图后,机器人找人节点进行路径规划并在室内环境中移动探索人的位置。

3) 机器人在移动过程中自主规避障碍物,对路径进行实时修正。同时,在每个单元分割得到的子区域中,机器人在旋转一周的同时对区域进行检测,确认是否有人在该区域内。直到探测到人的存在,机器人停止运动,并发布已找到人的消息。

4 结语

文中笔者提出了一种用于室内移动机器人在静态环境中寻找人的路径规划算法,充分考虑了机器人可

用的环境信息和传感器信息。主要包括3个核心步骤:在栅格环境模型上的Boustrophedon单元分割,遗传算法生成区域转移序列和改进的A*算法获得两点的最优路径。

笔者提出的算法已经在仿真平台和实际实验中得到验证,通过这种算法生成的路径,机器人可以在整个室内环境中搜索,以在可能的最短时间内找到人的位置。与使用来回运动和障碍规避算法的基准算法相比,笔者提出的算法在减少花费在寻找目标人上的时间上更有效。进一步的研究将集中于应用此算法到更复杂的动态环境中。

参考文献:

- [1] 周艳聪,董永峰,王安娜,等. 新的室内移动机器人自定位方法[J]. 计算机应用,2015,35(2):585-589.
- [2] 李淑霞,杨俊成. 一种室内清扫机器人路径规划算法[J]. 计算机系统应用,2014,23(9):170-172.

(下转第48页)