

一种室内清扫机器人路径规划算法^①

李淑霞, 杨俊成

(河南工业职业技术学院 计算机工程系, 南阳 473000)

摘要: 清扫机器人作为服务机器人领域中的一个新产品已成为人们家庭当中的重要一员, 全覆盖路径规划问题是其重要技术之一. 提出一种新的路径规划算法, 该算法对室内环境进行栅格模型建模, 生成一个无向完全图 G , 对图 G 采用深度优先搜索和广度优先搜索, 并应用拓扑排序动态更新图 G , 生成最短全覆盖规划路径, 最后用生成树来验证该算法的有效性和可行性.

关键词: 清扫机器人; 无向完全图; 生成树; 路径规划; 栅格模型

Path Planning Algorithm for Indoor Cleaning Robot

LI Shu-Xia, YANG Jun-Cheng

(Department of Computer Engineering, Henan Polytechnic Institute, Nanyang 473000, China)

Abstract: Cleaning robots has become an important one among the family as service robots; full coverage path planning is one of the important technologies. This paper presents a new path planning algorithm, which uses a grid model for modeling for the indoor environment, and generates an undirected complete graph G . It uses depth-first search and breadth-first search combined in figure G , while applying topological sorting constantly updated graph G to generate the full coverage of the shortest path planning. Finally, it uses the spanning tree to prove the effectiveness and feasibility of this algorithm.

Key words: cleaning robot; undirected complete graph; spanning tree; path planning; grid model

随着人们生活水平的提高, 室内清扫机器人越来越受人们的欢迎. 清扫机器人的实现需要对控制系统、传感器、吸尘技术、路径规划及电源等系统进行很好的设计和组合, 在这其中机器人自主移动的路径是体现机器人智能水平高低的关键技术之一. 一般机器人的路径规划问题是寻找一条从起点到终点的最优无碰路径^[1], 但对于清扫机器人而言, 全覆盖路径规划^[2,3]技术是其核心技术. 全覆盖路径规划是指机器人以尽可能低的重复率遍历环境中的全部无障碍区, 其目标是在封闭区域内实现最大覆盖率和最小重复率的行走路径.

目前用于清扫机器人的全覆盖路径规划的方法有很多种: 如人工势场法^[4,5]、栅格法^[6]、遗传算法^[7,8]、神经网络^[9,10]等, 这些方法都存在不同的缺点, 如容

易产生死锁现象, 使机器人在到达目标点之前就停留在局部最优点、搜索路径比较长、所花费的搜索时间比较多、有时还容易做一些无用功. 本文提出一种新的全覆盖路径规划算法, 该算法以室内环境为基础建立栅格模型, 并生成一个无向完全图 G , 图 G 中的每个节点表示需清扫的区域, 各节点间的距离用图的权值来表示, 对图 G 采用深度遍历和广度搜索及拓扑排序相结合的方法寻找机器人的规划路径, 最后理论证明该方法寻找出的路径最有效.

1 基于采样的室内环境栅格模型建模

由于在清扫之前室内环境信息是已知的, 故本文讨论的是已知环境信息中的室内机器人路径规划问题. 清扫机器人在清扫室内之前先利用自身的光电传

^① 基金项目:河南省教育厅科学技术研究重点项目(12A520048)

收稿时间:2014-01-08;收到修改稿时间:2014-03-27

传感器对已知环境信息进行建模, 该方法是 1968 年 W. E. Howden^[1]提出的栅格模型建模法. 在该方法中, 记 A 为机器人在二维平面上的有限运动区域, B 为自由栅格集合, 自由栅格为机器人可覆盖的无障碍区域; 记 O 为静态障碍物集合, O_1, O_2, \dots, O_i 为分布在二维平面上的静态障碍物, 且 $O \subseteq A, O \subseteq B$. 具体定义如下

定义. 环境中的栅格定义为 $g(a,b)$, 其中 a 为 g 所在的行号($a=1,2,\dots,n$), b 为 g 所在的列号($b=1,2,\dots,n$), 环境的采样信息为一串连续的栅格集合 $G(g_1, g_2, \dots, g_i), i=1,2,\dots,n$ 是栅格采样的序号.

根据定义, 假设高栅格宽度 δ , 其取值与清扫机器人的长宽有关, 这样可以让栅格的划分符合机器人的大小, 当机器人行走到一个栅格时就视为整个栅格的全覆盖.

$$\begin{aligned} a &= \text{int}(y/\delta) \\ b &= \text{int}(x/\delta) \end{aligned} \tag{1}$$

根据公式(1)可以将实际环境中的坐标(x,y)映射为栅格坐标 $g(a,b) \in A \in O$, 即可建立相应的栅格模型. 采用栅格(grid)法将机器人工作环境量化成具有一定分辨率的栅格, 栅格粒度的大小直接影响着栅格法的效率; 栅格粒度小, 需清扫部分表示的精确, 但会占用大量的存储空间; 栅格的粒度大, 环境信息存储量小, 规划时间短, 但清扫整个栅格同样可以达到清扫干净的目的.

在平面内, 系统利用栅格法将室内所处的环境建模为 $10*10$ 的环境地图. 将环境抽象为二维的栅格, 如图 1 所示:

10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91

图 1 栅格建模图

栅格可以分为两种, 阴影部分为需要清扫的栅格(清扫机器人在此栅格寻找路径进行清扫工作), 空白部分为不需要清扫的栅格. 清扫机器人的目的是花费较少的时间寻找一条最短路径清扫所有阴影部分栅格, 以此来达到打扫室内卫生的目的. 在此图中将阴影部分栅格作为无向完全图的节点, 每个节点间用无向线连接起来, 为任意两节点间加上权值表示节点间的距离, 构成如图 2 所示的一个无向完全图 G . 如果需清扫区域有两个或多个相邻的栅格, 则采用比较大的栅格粒度进行建模, 同样可以构成一个完全图.

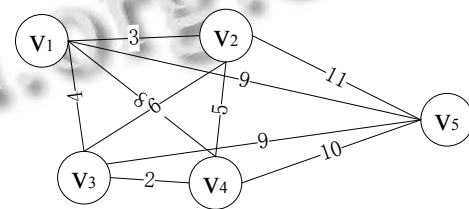


图 2 无向完全图

2 基于无向完全图的路径搜索算法

在图 2 的无向完全图中, 室内清扫机器人的任务是寻找一条遍历所有节点且距离最短的路径, 并沿该路径进行清扫工作. 在路径搜索中采用深度优先和广度优先相结合的搜索方法, 同时应用拓扑排序进行实时更新, 使无向完全图变的越来越简单, 路径搜索变的越来越容易. 具体算法思想如下:

Step1: 在图 G 中, 节点集合 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4, V_5\}$, 边集合 $R = \{<V_1, V_2>, <V_1, V_3>, <V_1, V_4>, <V_1, V_5>, <V_2, V_3>, <V_2, V_4>, <V_2, V_5>, <V_3, V_4>, <V_3, V_5>, <V_4, V_5>\}$, 用一个辅助数组 $edge$ 来记录从一个节点到另一个节点的距离;

Step2: 选择节点 $V' \in V$ 作为清扫机器人的起始节点;

Step3: 从数组 $edge$ 中选择从 V' 节点到图中其它节点 V'' (其中 $V'' \in V - V'$) 的最小代价边 $<V', V''>$ 作为机器人的首选路径, 并使 $V = V - V'$, $R = \{R - <V - V'>\}$;

Step4: 如果 $V - V'' \notin \Phi$, 使 $V' = V''$, 转到 Step2; 如果 $V - V'' \in \Phi$, 转到 Step5;

Step5: 算法结束, 得到经过无向完全图的所有节点且距离最短的路径.

根据该算法得出图 2 的路径为 $V_1 - V_2 - V_4 - V_3 - V_5$ (此时选择 V_1 作为机器人清扫

的开始节点), 同理可以分别将图 G 的其它节点 $V - V_1 = \{V_2, V_3, V_4, V_5\}$ 作为机器人的开始节点得出 n 条最短路径, 从得出的 $n=5$ 条路径中选出最短的一条路径作为机器人清扫的路径, 机器人沿该路径清扫时可以达到较好的效果. 如果在机器人清扫过程中遇到障碍物, 则机器人沿障碍物的边缘行走, 同样可以达到清扫的效果.

在图 G 中如果采用普里姆算法(Prim)或克鲁斯卡尔算法(Kruskal)可以生成最小生成树, 在该最小生成树中, 清扫机器人从节点 V_1 开始清扫时, 会发生回溯现象, 从而使机器人的路径不再最优, 且在清扫时做了一些无用功.

3 算法证明

为验证该算法的有效性和可行性, 本文采用相应的生成树进行分析证明, 对图 2 这样的包含 5 个节点的无向完全图来说, 边的个数为 $\frac{n(n-1)}{2} = 10$, 路径总数为 $\frac{1}{2}n! = 60$, 其中 $n=5$. 该生成树的过程是将算法中第二步中的 V' 节点作为根节点, V' 到 $V'' \in \{V - V'\}$ 的边作为根节点的孩子节点, 之后将作为根节点, 依次类推, 直到无向图中所有的节点都加入到这棵生成树中, 如图 3 所示 $V' = V_1$ 的生成树.

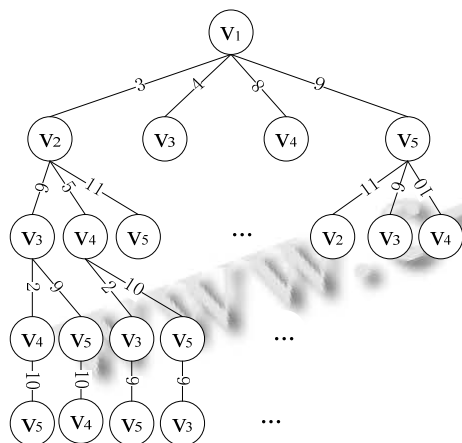


图 3 无向完全图对应的生成树

从图中将 V_1 作为生成树的根节点, 用上面的算法求解出的全覆盖路径是最短路径 L_1 . 同理, 可以分别用图 G 中的其它节点 $V - V_1 = \{V_2, V_3, V_4, V_5\}$ 作为生成树的根节点依次生成无向完全图对应的生成树, 分别用该算法求解出对应根节点的最短全覆盖路径,

$\{L_2, L_3, L_4, L_5\}$ 从 $L = \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5\}$ 中选择一条最短路径, 显然该路径是所有路径中的最短路径.

4 结语

自动清扫机器人是当今服务机器人领域一个热门, 从市场前景角度讲, 自动清扫机器人将大大降低劳动强度、提高劳动效率, 特别适合宾馆、酒店、图书馆、办公场所和大众家庭.

本文利用栅格建模, 并结合图的深度和广度遍历, 生成一种新的路径规划算法, 最终寻找一条对室内环境进行全覆盖的路径规划, 使清扫机器人更加高效、快捷的为人类服务.

参考文献

- 1 曲道奎,杜振军,徐殿国,徐方. 移动机器人路径规划方法研究. 机器人, 2008, 2: 97-101, 106.
- 2 赵慧南. 移动机器人全覆盖路径规划算法的研究[学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2011.
- 3 尹禄. 室内移动机器人全覆盖路径规划的研究与实现[学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- 4 张祺, 宜发. 基于改进人工势场法的足球机器人避碰控制. 机器人, 2002, 24(1): 12-15.
- 5 高云峰, 黄海. 复杂环境下基于势场原理的路径规划方法. 机器人, 2004, 26(2): 114-118.
- 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 王银年. 遗传算法的研究与应用[学位论文]. 无锡: 江南大学, 2009.
- 8 景兴建, 王超越. 一种基于理性遗传算法的协调运动行为合成算法. 机器人, 2002, 24(1): 49-54.
- 9 Yang SX, Luo C. A neural network approach to complete coverage path planning. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics part B, 2004, 1(34): 718-724.
- 10 Luo CM, Yang SX, Meng M. Entire region filling in indoor environments using neural networks. Intelligent Control and Automation, 2002. Proc. of the 4th World Congress on. 10-14 June 2002, 3(3): 2039-2044.
- 11 Rimon E. Exact robot navigation using artificial potential functions. IEEE Trans. on Robotics and Automation, 1992, 8(5): 501-518.