

基于平滑 A* 算法的移动机器人路径规划

王红卫, 马勇, 谢勇, 郭敏

(华中科技大学 系统工程研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要: 栅格环境下 A* 算法规划出的移动机器人路径存在折线多、转折次数多、累计转折角度大等问题. 为获得较优路径, 提出平滑 A* 算法. 在 A* 算法规划的路径基础上, 遍历路径中的所有节点, 当某一节点前后节点连线上无障碍物时, 将延长线路的这一中间节点删除, 建立平滑 A* 模型. 仿真结果表明, 平滑 A* 算法优于 Ant(蚁群), Anytime D* 算法. 平滑 A* 算法路径长度降低约 5%, 累计转折次数降低约 50%, 累计转折角度减少 30%~60%. 平滑 A* 算法能处理不同栅格规模下、障碍物随机分布的复杂环境下移动机器人路径规划问题.

关键词: 移动机器人; 路径规划; 平滑 A* 算法; 随机障碍物分布; 栅格规模

中图分类号: TP 24

文献标识码: A

Mobile Robot Optimal Path Planning Based on Smoothing A* Algorithm

WANG Hongwei, MA Yong, XIE Yong, GUO Min

(Institute of Systems Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Path planned by A* algorithm for mobile robot under grid environment is flawed with much broken lines, frequently turning points, large cumulative turning angle. Smoothing A* is proposed in order to obtain optimum path. Based on the initial path planned by A*, traversing all the nodes on initial path, deleting the node which prolongs the length of initial path as no obstacle existing on the line connected by forward and after nodes. Smoothing A* model is established after initial path processed. Simulation results show that smoothing A* exceeds Ant, Anytime D*. Length, total turning points, cumulative turning angle of path are almost reduced by 5%, 50%, 30%~60% respectively when smoothing A* algorithm is adopted. Path planning problem under different complex environment with random obstacles distribution can be achieved by smoothing A* algorithm.

Key words: moving robot; path planning; smoothing A* algorithm; random obstacles distribution; size of grid environment

移动机器人路径规划^[1]是指在障碍物环境下为机器人规划一条从起始点到目标点的最优或者次优安全无碰撞路径. 路径规划问题通常存在环境信息量大、障碍物多等约束, 其已被证明是 NP-Hard(非确定性多项式困难)问题^[2].

多种算法已经应用到路径规划中. Latombe^[3]研究指出传统方法主要有图形方法和分析方法. 图形方法有路图法、栅格法等. 遗传(GA)、蚁群(Ant)、禁忌搜索(Taboo search)智能算法及其混合形式也用来解决路径规划问题^[4]. 智能算法如 GA 存在编码长度变化范围大, 求解效率低, 求解规模小问题^[5]. Dijkstra^[6]算法直接搜索全局空间而不考虑目标信息, 导致路径求解时间长, 难以满足快速规划路径的需求.

A* 算法是一类适用于全局环境信息已知的路径规划方法, 同时也适用于路径的二次规划^[7]. A* 算法引入了启发式函数, 因此 A* 算法亦称启发式算法. 为解决环境信息局部变动情况下路径规划问题, K. I. Trovato 提出微分 A* 算法^[8], 该算法处理流程复杂, 实现需要大量数学计算和推导. A* 及微分 A* 算法规划路径中存在折线多、转折次数多等问题. 为改进线路质量, 对 A* 算法深入研究, 建立平滑 A* 算法模型并给出实现方法和对比结果. 对比结果表明, 平滑 A* 算法规划路径优于其他算法规划结果.

1 问题的描述

移动机器人看作 2 维平面环境中的点状移动物

收稿日期: 2010-05-12

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(90924301); 国家自然科学基金资助项目(70971046)

作者简介: 王红卫(1966—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为智能决策支持系统复杂系统建模.

E-mail: hwwang@mail.hust.edu.cn

体,环境中的若干障碍物映射成平面中不能通行的危险区域.记移动机器人 r 在 2 维平面有限区域 a 上运动,在 a 上分布着任意可数数量的障碍物.障碍物 $o_i (i=1,2,\dots,n)$ 的形状分布不确定, a 设置为任意形状的凸多边形.将 a 补齐为规格的长方形,将补齐的区域视为障碍物区域不允许 r 通过.经过栅格化处理, a 上的障碍物转换成障碍物区域.在 a 中以其左下角为坐标原点 O ,以横向为 x 轴,纵向为 y 轴.将栅格化后的环境信息映射到平面坐标系 xOy 中.假设 r 在 a 上的步长为 u , a 在 x 及 y 轴上的最大值分别为 x_{\max}, y_{\max} ,则 a 行列的栅格数分别为 $N_c = x_{\max}/u, N_l = y_{\max}/u$.

如图 1 所示,障碍物随机分布在 a 上, r 起止点位置不定.记 g 为任意栅格,设 a 中的栅格构成集合 A ,记 $O_{\text{obs}} = \{o_1, o_2, \dots, o_n\} \in A$ 为障碍栅格集. $\forall o_i \in O_{\text{obs}} (i=1,2,\dots,n). \forall g \in A$ 在 xOy 中对应坐标为 (x, y) ,记作 $g(x, y)$,定义左下角第一个栅格坐标为 $(1,1)$.令 $N_{\text{num}} = \{1,2,3,\dots,M\}$ 为栅格序号集, $g(1,1)$ 序号为 1, \dots ; $g(2,1)$ 序号为 $(N_c + 1) \cdot g_i \in A$ 的坐标 (x_i, y_i) 与序号 $i \in N_{\text{num}}$ 构成互为映射关系,序号 i 的坐标由下式确定:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= ((i-1) \bmod N_c) + 1 \\ y_i &= \text{int}((i-1)/N_c) + 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: int, mod 分别为舍余取整、求余运算.

栅格环境下路径规划是指在 a 上使得 r 从任意起始点 S_s 沿着一条较优路径安全无碰撞地到达任意设定的目标点 T_e .其中 $S, T \in O_{\text{obs}}$ 且 $s, e \in N_{\text{num}}, s \neq e$.

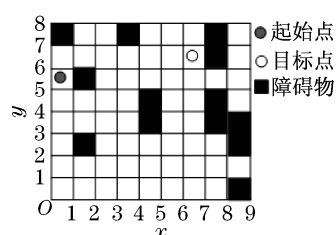


图 1 栅格化的移动机器人环境

Fig. 1 Environment modeled by grid method

2 采用 A* 的机器人路径规划

2.1 算法的基本原理与问题定义

A* 算法是在 Dijkstra 算法的基础上发展起来的^[8],从起始节点出发,依次对当前节点的子节点权重进行更新,并用子节点中权重最小者对当前节点更新,直至遍历所有节点(或者当前节点为目标节

点)为止. A* 算法考虑了移动机器人目标点位置信息,沿着目标点位置开始搜寻,与 Dijkstra 算法相比路径搜寻效率更高.在 A* 算法中给出以下定义:

- k ——路径规划中已规划过的某一个节点;
- g_i ——路径规划搜索过程中的栅格节点;
- $g_{i.x}, g_{i.y}$ ——分别为节点的横、纵坐标;
- $g(k)$ ——初始节点 S_s 到 k 的实际移动距离;
- $h(k)$ ——启发函数, k 到 T_e 的启发距离;
- $f(k)$ —— $g(k) + h(k)$,节点 k 的路径评价函数;
- O ——存放等待扩展的节点的队列集合;
- C ——存放已扩展过节点的队列集合;
- n_e ——扩展节点函数,当节点不是障碍点或之前没被扩展过,执行插入节点函数,将其插入 O 列表;
- $n_i()$ ——插入节点函数,将节点按 f 值的大小降序放入 O 列表.

采用栅格地图和八邻域节点扩展法,将移动机器人以当前节点 k 到目标点 T_e 的 Euclidean 距离作为启发式函数

$$h(k) = \sqrt{(kx - T_e x)^2 + (ky - T_e y)^2} \quad (2)$$

2.2 算法流程

图 2 给出 A* 算法的流程.通过计算获得初始规划路径 P_i .

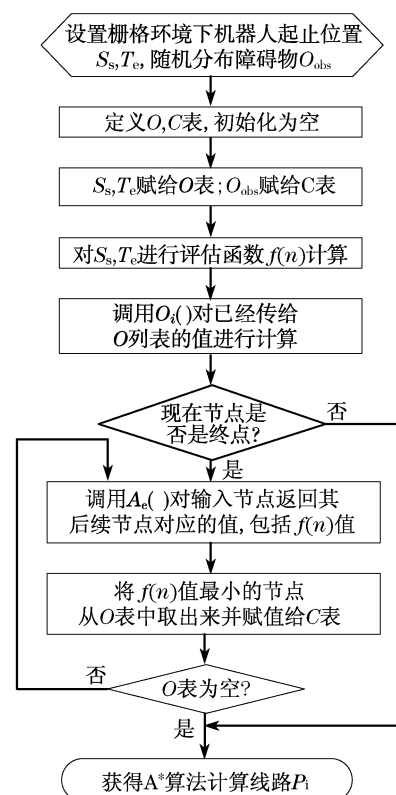


图 2 A* 算法移动机器人路径规划流程

Fig. 2 Path planning flow chart by A*

在移动机器人 r 路径规划过程中,采用评价函数 $f(k)$ 最小的节点作为扩展节点,并将该节点存入 C 列表,直至扩展至目标节点.在算法中给出定义的函数文件 D_n 用于计算启发式函数值, A_e 获取节点的后继扩展列表, O_i 计算传给 O 列表的值, I_n 返回 O 节点位置索引.

3 平滑 A* 路径规划模型及实现

3.1 经平滑处理的 A* 算法路径规划模型

图 3 中障碍物随机分布情况下 A* 算法获得的线路存在折线多、转折次数多、转折角度多等问题,易知规划的路径并非起止点之间的期望路径.

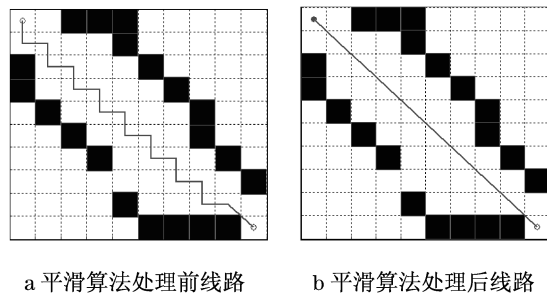


图 3 平滑算法处理前后的规划路径

Fig. 3 Path processed or not by smoothing algorithm

为获得较好规划路径,对线路进行平滑处理.图 4 中给出平滑 A* 算法的流程图.在 P_i 基础上,遍历路径中的所有节点.当某一节点前后节点连线上无障碍物时,将延长线路的这一中间节点删除.平滑 A* 算法检测线路上从起始点到终止点的所有节点,并将不必要的连接点剔除.图 3b 为经过平滑算法处理的路径规划结果.同图 3a 中线路对比,改进后的线路符合移动机器人最优路径规划的需要.

3.2 平滑处理的 A* 算法实现

在平滑 A* 算法中,为减少路径长度、转折次数和转折角度,定义了 $P_s()$ 和 $W()$ 函数. $W()$ 判断待连接节点的线段上无障碍物.如在图 3a 中要连接左上角起始点 S_s 到其下一节点所指的节点,则需要判断在这 2 个节点连线上是否有障碍物.有障碍物,则 $W()$ 失败,即无通路;否则可连通.图 5 给出实现流程.

4 仿真实验

实验环境为:CPU Intel Core2 Duo,内存 2 GB,编译工具 Matlab 7.0.对不同栅格环境下障碍物随机分布的移动机器人进行路径规划仿真,并给出模拟结果.

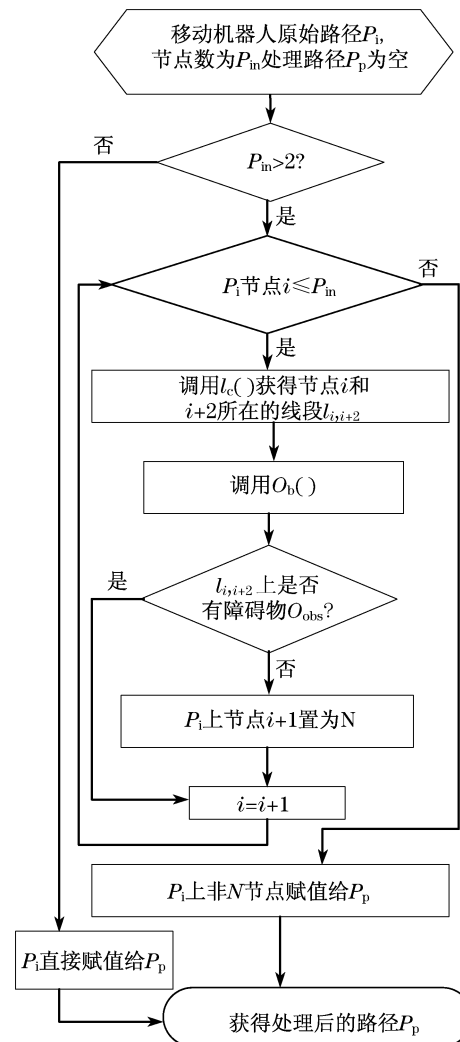


图 4 平滑 A* 算法移动机器人路径规划流程

Fig. 4 Path planning flow chart by smoothing A*

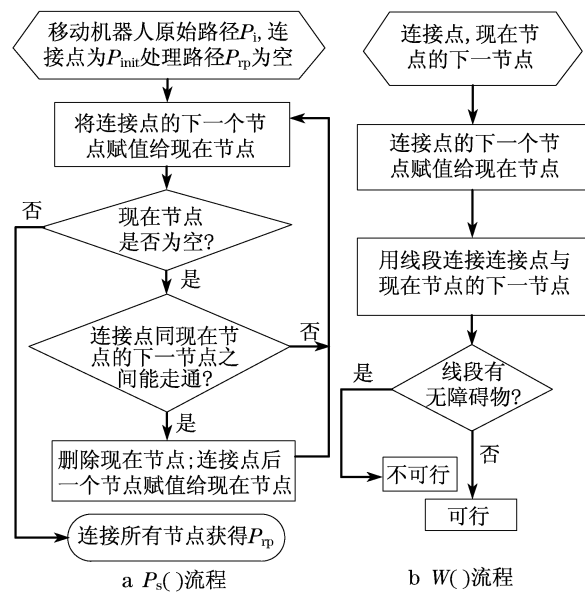


图 5 $P_s()$ 及 $W()$ 流程

Fig. 5 Flow chart of $P_s()$ and $W()$

为同其他路径规划方法对比,图 6a,b 分别为文献 [9-10] 给出的复杂栅格环境下采用 Ant 算法、Anytime D* 算法的机器人路径规划结果,图 6c,6d 是平滑处理 A* 算法给出对应环境下的规划结果.从移动机器人转折次数,转折角度和路径长度性能参数比较看出:平滑 A* 算法规划的线路要优于对比算法中给出的线路结果.图 6 仿真对比结果表明,平滑 A* 算法能满足复杂环境下机器人路径规划问题的要求.

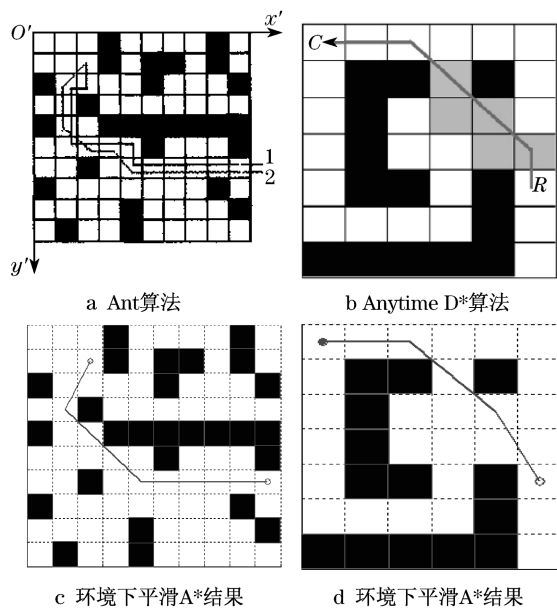


图 6 同一环境下 A* 算法同其他算法结果对比

Fig.6 Path planned by A* algorithm and other algorithms

栅格规模代表 A* 算法对移动机器人路径规划的区域大小.在仿真中对 50×50 , 300×300 两种栅格规模下障碍物随机分布并且移动机器人起止位置随机的情况进行路径规划,并给出 A* 算法和平滑 A* 算法的结果.仿真中障碍物随机数 r_{obs} 是指在某

表 1 不同栅格环境下移动机器人采用 A* 算法平滑前后性能参数比较

Tab.1 Parameters comparison of planned path by A* algorithm smoothing or not under different grid environment

栅格规模	障碍物随机数 r_{obs}	平滑与否	路径长度	长度降低率/%	运行时间/s	时间增加率/%	累计转折次数	转折次数减少率/%	累计转折角度/(°)	转折角度减少率/%
50 × 50	0.970 0	A*	58.083 3		0.422 0		45		635.497 8	
		平滑	53.370 7	8.11	0.437 0	3.55	23	48.9	456.179 2	28.2
300 × 300	0.999 0	A*	316.742 2		85.375 0		232		1 873.500 0	
		平滑	311.138 9	1.77	85.484 0	1.28	117	49.6	802.931 4	57.1

实验结果表明,指定栅格规模且障碍物随机分布情况下采用平滑 A* 算法为移动机器人规划出移动路径性能参数优于 A* 算法规划的路径性能参数.平滑 A* 算法运行时间损失在 2.5% 左右,其路径长度降低率在 5% 左右,累计转折次数降低约 50%,累

一栅格规模下产生相应规模的随机数矩阵,并将随机数大于 r_{obs} 的位置设为障碍区域.

图 7 中 2 种不同栅格环境下障碍物随机分布,移动机器人的起止位置可任意选取. S 和 T 分别代表机器人起止位置,随机分布的点状物体代表对应栅格环境下障碍物.在表 1 中给出对应栅格规模下,在设定的障碍物随机数 r_{obs} 下,A* 算法同平滑 A* 算法在路径长度、运行时间、转折次数及转折角度方面的仿真结果.

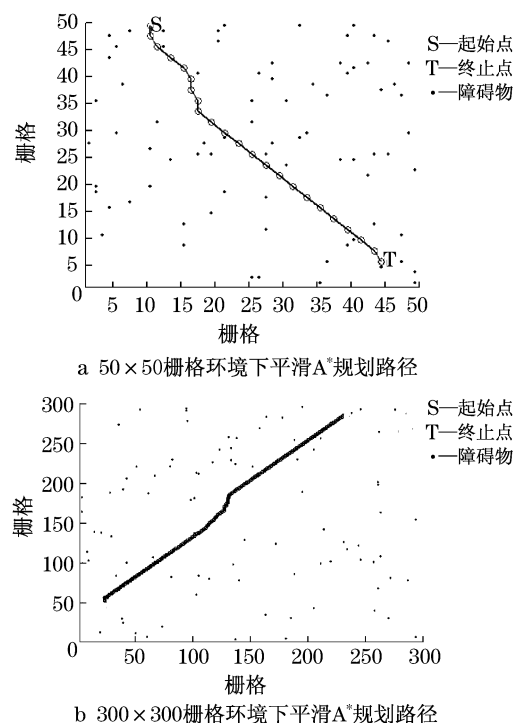


图 7 障碍物随机分布下平滑 A* 算法规划路径

Fig.7 Path planned by smoothing A* algorithm under random obstacles distribution grid environment

计转折角度减少 30%~60%.

5 结论

栅格环境下采用 A* 算法规划出的移动机器人
(下转第 1655 页)