

一种改进的移动机器人全局路径规划算法

吴忻生, 竹利平, 胡跃明

(华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广东 广州 510640)

摘要: 基于移动机器人的安全考虑, 提出了一种改进的可视图法。该方法用尽可能远离障碍物的路径表示弧, 先确定可能的路径点作为节点, 然后考虑可能路径, 建立结点间的弧, 并用 Dijkstra 算法求出图中的最短路径。最后通过仿真研究表明, 用文章提出的方法规划的路径可以达到或接近最优路径。

关键词: 移动机器人; 带权图; Dijkstra 算法

Improved Global Path Planning Algorithm of Mobile Robots

WU Xin-sheng, ZHU Li-ping, HU Yue-ming

(College of Automation Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: An improved method of the visibility graph to ensure the safety of robots is presented. This approach builds the arcs far away from the barriers. The possible path nodes at the graph are first determined, and the possible paths are also considered to build the arcs among nodes. The shortest path is then obtained by the Dijkstra algorithm. Simulation results show that the path derived by this approach can reach or approximate the optimal path.

Key words: mobile robot; weighted graph; Dijkstra algorithm

1 引言

移动机器人的路径规划根据路径的有无可以分为全局路径规划和局部路径规划。全局路径规划是环境已知的一种规划方法, 也叫基于模型的规划方法。而局部路径规划是环境未知或部分未知的, 即障碍物的尺寸、形状和位置等信息必须通过传感器获得的一种规划方法, 也叫基于传感器的路径规划。对于后者, 目前已有许多研究者在进行研究, 提出了很多方法, 如基于路标的路径规划^[1]、基于视觉的导航^[2]、基于模糊控制的路径规划^[3]等。相对而言, 关于全局规划的研究显得较为单薄。其中研究较成熟的是自由空间法^[4]和可视图法(Visibility Graph)^[5, 9]。自由空间法的基本思想是采用预先定义的基本形状(如广义锥形, 凸多边形等)构造自

由空间, 并将自由空间表示为连通图, 如何通过对图的搜索来规划路径。可视图法将所有障碍物的顶点和机器人起始点及目标点用直线相连, 这些直线均不能与障碍物相交, 而后采用某种方法搜索从起始点到目标点的最优路径。但是, 在这种方法中, 机器人若误解了自己的位置而离开路径, 移动机器人碰撞障碍物的可能性会很高。为了安全起见, 文章采用一种改进的可视图法。与传统的可视图法把障碍物的顶点作为图的节点、把障碍物的边作为弧相比, 这种改进的算法则把障碍物顶点连线的中点作为节点, 把这些节点间的某些连线作为弧。这种方法虽然从起始点到目标点的路径有些加长, 但即便误解了自己的位置, 偏离了规定的路径, 也可避免碰撞障碍物。

2 一种改进的运动规划算法

首先, 我们对环境空间作如下假设: (1) 移动机器人在二维平面环境中运动, 不考虑高度信息; (2) 用多边形来描述环境的边界及障碍物轮廓(给路径宽度留出一定的裕度, 如障碍物间的距离太窄, 则可将两者连接成一个障碍物); (3) 把障碍物径向扩张, 机器人缩成一个点。在存在扩张了的障碍物的地图(平面)上, 可以规划为点机器人的路径。

传统的可视图法可以归纳为以下 3 个步骤: (1) 用直线划分自由空间为多边形区域; (2) 将所有障碍物的顶点和机器人起始点及目标点用直线相连, 把这些顶点及起始点和目标点作为节点, 把他们的连线作为弧; (3) 对这些弧加上权值。

收稿日期: 2003-05-03。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69974015); 广东省自然科学基金资助项目(990583); 广东省教育厅“千百十工程”资助项目。

作者简介: 吴忻生(1961-), 男, 浙江省云和县人, 讲师, 主要从事自动化技术和智能系统的工程应用的研究。

胡跃明(1960-), 男, 安徽省绩县人, 教授, 博导, 并担任中国自动化学会控制理论专业委员会委员等学术职务, 先后主持完成 863 计划智能机器人主题、国家自然科学基金等部门的研究开发项目 10 余项, 出版专著 4 部(章)和重要学术论文 60 多篇, 主要从事智能机器人控制技术、非线性控制理论与应用、基于视觉的检测与控制技术以及智能医疗器械等方向的研究。

对于上述传统算法，考虑到机器人的安全性，我们对上述算法进行改进。改进后的算法如下：

(1) 用直线划分自由空间为多边形区域；(2) 取各直线的中间点为结点；(3) 考虑可能存在的弧，连接这些结点，从而形成结点间的弧；(4) 增加起点和终点，并将它们作为新的结点，考虑它们与其他结点间若可能存在弧，则把它们连接起来；(5) 对这些弧加上权值（一般假设机器人作匀速运动，把路径长度作为其权值）。

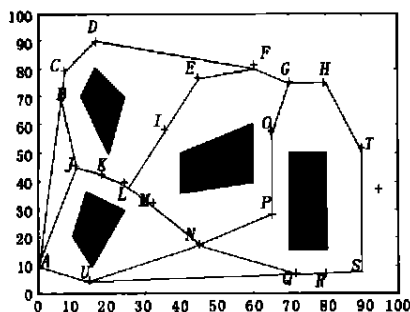


图 1 规划空间示意图

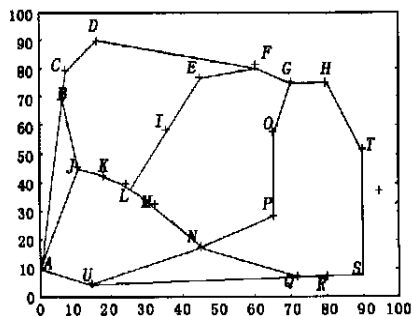


图 2 处理后的有向图

对于图 1 所示含障碍物的规划空间，经过上述算法处理后，可得到图 2 所示的有向图。图中，黑块表示为障碍物，A 为起始点，H 为终点。对于一些度数为 2 的弧，在仿真的时候可以合并起来考虑。如图中，节点 B、C、D、F 间有一条路径，可以用弧 BF' 来代替弧 BC+CD+DF，其权值为各段弧的权值的和。

3 搜索算法

对于上述问题，要求最短路径，我们可以应用图论中求最短路径的 Dijkstra 算法来求解。设 $G = (S, T)$ 是一个带权的有向图，如何求从点出发到点的最短路径，Dijkstra 于 1959 年提出了解决此问题的一般算法，其基本思想为^[8]：

把图中顶点集合 V 分成两组，第一组为已经求出最短路径的顶点集合 ∇ ，第二组为其余未确定最短路径的顶点集合 Θ ，按最短路径长度的递增次序依次把第二组的顶点加入到集合 ∇ 中。在加入的过程中，总保持从源点 S 到 ∇ 中各顶点的最短路径长度不大于从源点 S

到 Θ 中任何顶点的最短路径长度。此外，每个顶点对应一个距离， ∇ 中的顶点的距离就是从源点到此顶点的最短路径长度；而 Θ 中的顶点的距离就是从源点 S 到此顶点的当前最短路径长度（只包括 ∇ 中的顶点为中间顶点）。

4 仿真

在所考虑的问题中，我们规定：若 a, b 间存在弧 (a, b) ，则把此弧的长度作为弧的权值 $w(a, b)$ ，若 a, b 间不存在弧，则令 $w(a, b) = \infty$ ；设 $d(a)$ 为出发点 s 到顶点 a 的最短路径长度。仿真算法的具体步骤为：(1) 开始， ∇ 中只包含源点 s ，即 $\nabla = \{S\}$ ， S 的距离为 0。 Θ 中包含除 S 的其他顶点。 Θ 中任一顶点的当前最短路径长度为： $w(S, I)$ 。(2) 从 Θ 中选择一个距离最小的顶点 K ，把它加入 ∇ 中。（这个距离就是 S 到 K 的最短路径长度）。(3) 以 K 作为新考虑的中间点，修改 Θ 中各顶点的距离： $d(J) = \min \{d(J), d(K) + w(K, J)\}$ (J 为 Θ 中任一顶点)。(4) 重复步骤 (2)、(3) 直到所有顶点都包含在 ∇ 中。

设 G 是有 n 个顶点的带权图，用代价邻接矩阵 $cost$ 表示。

$$cost(i, j) = \begin{cases} w(i, j) & v_i \text{ 到 } v_j \text{ 存在弧 } v_i \neq v_j \\ 0 & v_i = v_j \\ \infty & \text{其他} \end{cases}$$

在仿真中，采用一维数组 $s[n]$ 来保存已求得最短路径的终点的集合 ∇ ， $s[i] = 1$ 表示顶点 v_i 在集合 ∇ 中， $s[i] = 0$ 表示顶点 v_i 不在集合 ∇ 中。设置一个数组 $dist[]$ ，该数组中的第 i 个元素 $dist[i]$ 用来保存从源点 v 到终点 v_i 的目前最短路径长度，它的初值为 $d(v, v_i)$ ，以后每考虑一个新的中间点时， $dist[i]$ 的值可能被修改变小；再设置一个与数组 $dist[]$ 相对应的数组 $path[]$ ，其第 i 个元素用来保存从源点 v 到终点 v_i 当前最短路径中的前一个结点的编号，它的初值为源点 v 的编号 (v 到 v_i 有弧时) 或为 0 (v 到 v_i 不存在弧时)。

对图 3 所表示的障碍物地图，建立其相应的有向图，设 A 为起点， H 为终点，寻找最优路径。用 Dijkstra 算

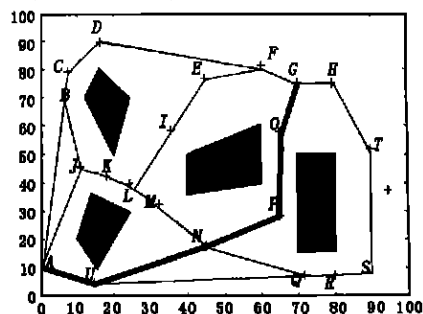


图 3 障碍物地图

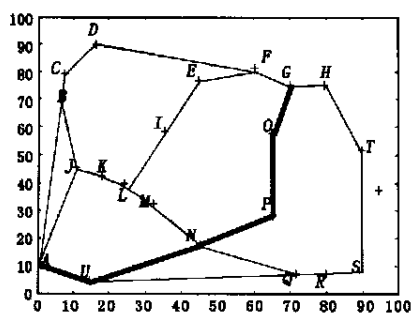


图 4 最优路径图

法在 Matlab 中进行仿真。仿真结果如图 4 所示, 最优路径为 $A \rightarrow U \rightarrow N \rightarrow P \rightarrow O \rightarrow G \rightarrow H$ 。

5 结论

文章用一种改进的可视图法来描述环境, 并用 Dijkstra 算法进行最优路径的规划。使所求路径尽量远离障碍物, 从而使机器人碰到障碍物的可能性减小。在这个基础上运用 Dijkstra 算法来搜索路径, 找到的路径是最优或接近最优的, 因此具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] WIJKA H I, CHRISTENSEN B. Localization and navigation

of a mobile robot using natural point landmarks extracted from sonar data [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2000, 31(1): 31—42.

- [2] TANG L X, YUTA S. Vision based navigation for mobile robots in indoor environment by teaching and playing-back scheme [A]. In Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on robotics & Automation [C]. Seoul, Korea, 2001: 21—26.
- [3] JORGE G, AILSON R. Uncertainty representation for mobile robots: perception modeling and navigation in unknown environments [J]. Fuzzy Sets and System, 1999, 107(1): 1—24.
- [4] 孟庆浩, 彭商贤, 刘大维. 基于 Q—M 图启发式搜索的移动机器人全局路径规划 [J]. 机器人, 1998, 20(4): 273—278.
- [5] NEUS M, MAOUCHE S. Motion planning using the modified visibility graph [A]. In Proc. 1998 IEEE Int. Conf. on Control Applications [C]. 1998, 2: 1333—1337.
- [6] RAO N S V. Robot navigation in unknown generalized polygonal terrains using vision sensors [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1995, 25(6): 947—962.
- [7] 米涅卡 E. 网络和图的最优化算法 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.

(上接第 889 页)

(半八位的十进制数), 电话号码是一个奇数 (11), 因此加入 F 来保证 8 位, 短信中心的实际号码是 "8613800100500"; "11" 是发送信息的第一个 8 位字节 (TP—FO); "00" 是信息参考 (TP—MR); "0D" 是目的地址的长度 (0D hex = 13 dec); "91" 是目的地址类型; "683119606641F9" 是目的地址; "00" 是协议标识 (TP—PID); "00" 是数据编码方案 (TP—DCS), "00" 表示 7—bits 数据编码, "08" 表示是 16—bits 的 Unicode 编码, 若要发送汉字消息应采用 Unicode 编码方案 08; "AA" 是有效周期 (TP—VP), (AA hex = 170 dec) 表示 4 天; "11" 是用户数据长度 (TP—UDL), (11 hex = 17 dec); "A71154747A0E4ACF41F4F29C9E76—9F4121" 是用户数据 (TP—UD), 这些 8 位字节表示 "This is testing !" [5]。

4 结束语

实践证明, 基于 GSM 移动通信网以 Text 模式和 PDU 模式发送短消息的方法具有很重要的应用价值。用户通过 AT 命令除了进行短信业务外, 还可以进行电话呼叫服务、电话本服务、数据业务、补充业务、传真等方面的控制。采用 AT 命令编程的优点是比较灵活, 可实现各种复杂的功能。但是以 PDU 模式发送短消息

比较烦琐、复杂。

参考文献:

- [1] 姜木霖. 车辆监控导航系统中的应用技术 [J]. 湖北汽车工业学院学报, 2000, 14(3): 42—45.
- [2] 冯悦. GSM 技术在 GPS 车辆监控系统中的应用 [J]. 微计算机信息, 1999, 15(6): 29—32.
- [3] 郭鹏, 孙玮, 韩璞. 基于手机短信息 (SMS) 的远程无线监控系统的研制 [J]. 计算机测量与控制, 2002, 10(8): 506—507.
- [4] WAVECOM 公司. ETSI (GSM 07.07 Version 7.3.0): AT command set for GSM Mobile Equipment [Z]. 1998.
- [5] WAVECOM 公司. An introduction to the SMS in PDU mode [Z]. V1.00—January 2000.