

文章编号 1004-6410(2011)04-0035-05

基于动态规划算法的机器人避障路径研究

张 昊, 罗文广, 臧庆凯

(广西工学院 电子信息与控制工程系, 广西 柳州 545006)

摘 要:为了使复杂的移动机器人路径规划问题得到简化,并减少可行路径的计算量,对避障路径规划问题进行了比较深入的研究.在以可视图法所建的求解环境为基础,将避障路径规划转化为多阶段决策问题,对每一个阶段的子问题应用改进可视图法和几何逼近算法进行求解,得出各阶段的最短路径.验证表明:该算法是一种正确、高效、实用的算法.

关键词:避障路径规划;动态规划;可视图;最优路径

中图分类号:TP249

文章标志码:A

0 引言

移动机器人路径规划是指在有障碍物的工作环境中,如何寻找一条从给定起点到给定目标点的运动路径,使机器人在运动过程中能安全无碰撞地绕过所有障碍物^[1-2],并尽量满足如时间最短,耗能最低等某些优化指标.根据机器人对环境信息知道的程度不同,路径规划可以分为两种类型:1)环境信息完全已知的全局路径规划,又称静态或离线路径规划;2)环境信息完全未知或部分未知,通过传感器在线地对机器人工作环境进行探测,以获取障碍物的位置、形状和尺寸等信息的局部路径规划,又称动态或在线路径规划.

全局路径规划常用的方法有:可视图法^[3]、栅格法、自由空间法等.基于图论的全局路径规划的基本思想是构造某种图来描述环境的自由空间,从图上找到满足某种准则的最优路径.此法一般包括两个阶段:第一阶段构造一个用以描述自由空间的关系图;第二阶段按照一定的准则(如最短距离,最少时间等)寻求一条最优路径.本文就视图法中利用动态规划算法对移动机器人路径规划进行设计.

1 可视图法

可视图法视移动机器人为一点,将机器人起始点、目标点和多边形障碍物的各顶点进行组合连接,并保证这些直线均不与障碍物相交,构成一张无向图,称为可视图.由于任意两直线的顶点都是可见的,从起点沿着这些直线到达目标点的所有路径均是运动物体的无碰路径.搜索最优路径的问题就转化为从起点到目标点,经过这些可视直线的最短距离问题.在实际应用中,机器人不可能只是空间中的一个点,这就需要对上述可视图构建方法进行修正.从路径规划的角度来说,机器人缩小一定尺寸,同障碍物外扩相应尺寸是等价的,因此可以根据机器人的物理尺寸和运动方式,对空间障碍物进行增长操作,在障碍物增长后的环境中,机器人可以视为一点,从而可以继续采用上述方法构建可视图.

目前,利用可视图对最短路径的求解方法有:贪心算法、Dijkstra算法、A*算法.相比来说,贪心算法采用逐步构造最优解,每个阶段都做出一个看上去最优的决策,一旦做出就不再更改,所以并不一定得出整体最优解;Dijkstra算法效率低,运算中占用空间大,需要 $3n(n-1)/2$ 次运算(n 为节点数);A*算法:在同

收稿日期:2011-06-17

基金项目:广西自然科学基金项目(桂科自0832067)资助.

通信作者:罗文广,教授,工学硕士,研究方向:智能控制及应用,E-mail:lwgl68@126.com.

样的前提下,选用不同的估价函数,所需搜索的节点数目和最终的搜索结果可能不同.实际情况中需要依据经验来合理构造估价函数.本文根据以上算法存在的缺点,利用动态规划算法将避障路径规划转化为一个多阶段决策问题,从而将问题与动态规划有效地结合在一起,对于每一个阶段的子问题应用改进可视图法和几何逼近算法进行求解,得出各阶段的最短路径,最终求出全局最优解.与以往算法相比此方法在得出全局最优解的同时,有效地减少了计算量,整个分析求解过程简单明了.

2 动态规划算法

在 20 世纪 50 年代,美国数学家贝尔曼(Richard Bellman)等人根据多阶段决策问题的特点,提出了“最优性原理”,从而创建了解决最优化问题的一种方法—动态规划^[4].动态规划是求解多级决策过程最优化的—种数学方法,所谓多级决策过程^[5],是指把一个过程分成若干阶段,每一阶段都要做出决策,以使整个过程取得最优效果.通过对多级决策问题的讨论,可以初步了解动态规划的思想和方法.最短路径问题是多级决策问题的一个典型例子.

在机器人避障过程中,通过其中一个障碍物之后到达目标点的路径是根据后续障碍物的位置所确定的.根据动态规划知识于是提出了利用该算法对移动机器人路径规划的设计.

3 避障路径规划

在可视图法中,避障的实质就是当无法按照直线到达目标时要绕过障碍物.根据这样就可以将其看成是以求解过程中所遇到的障碍物为阶段的多阶段决策问题,路径规划转变成了多阶段决策,问题的求解可以用动态规划来实现.

所以按照动态规划的求解思路,首先规划求解环境,然后根据障碍物的分布把问题划分为若干个阶段,接着对各阶段状态点进行确定.

3.1 求解环境

可视图求解方法即为将所有的实际障碍物集合等效成平面中的多边形集合,并将起始点和目标点在空间中对应的点扩充到多边形集合中.将机器人的尺寸扩充到障碍物边界,使得机器人在求解环境中可视为一—点,如图 1 所示.另外,在等效图中多边形的凹处通过连接其顶点后使之变成凸多边形后,这样可以减少计算并且不会影响求解结果.所以可以按这样的方式来构建求解环境:将机器人视为—点,同时将障碍物等效成平面中的凸多边形集合,并将起始点和目标点在空间中对应的点扩充到多边形的集合中.

3.2 阶段划分

根据路径中所绕过的障碍物的个数来划分阶段数,通过对每一阶段都做出决策,以使整个过程取得最优效果.如图 1(a)所示,将障碍物由起始点开始向目标点按顺序分成 N 个阶段.

当两个障碍物并排时,或者是于坐标图中做平行与 X 轴的线,若此线能同时两个或两个以上的障碍物时,将这些障碍物看为同一个阶段.如图 1(b)所示.其中, S 为出发点, G 为目标点, I 为第 1 阶段障碍物, II 为第 2 阶段障碍物.

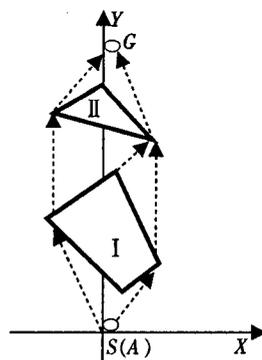
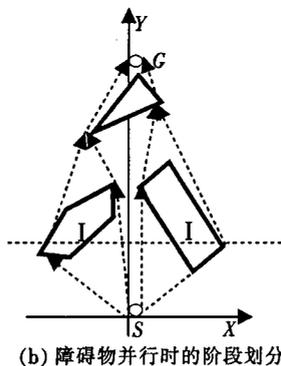
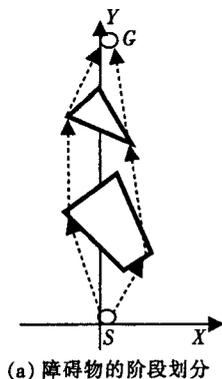


图 1 障碍物的阶段划分

图 2 各阶段状态点的确定

3.3 各阶段中状态点的确定

在对机器人路径规划中各阶段状态点的确定即是对障碍物(凸多边形)部分顶点的确定.如图2所示.

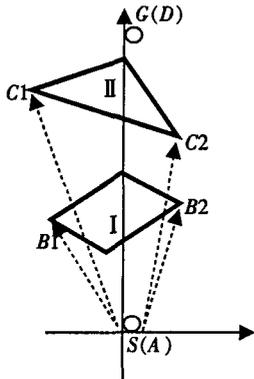
其中, B_i 为第I阶段障碍物的各个顶点, C_i 为第II阶段障碍物的各个顶点,像 B_1, B_3, C_2 这些点在最短路径中并未起到作用,如果简单的把每一阶段中障碍物的所有顶点都确定为状态点的话,那么就会增加许多不必要的计算.

因此,应当充分考虑实际情况舍去不必要的点来完成对状态点的确定.通过对各种图形的研究,对各阶段状态点的确定做出以下规定:

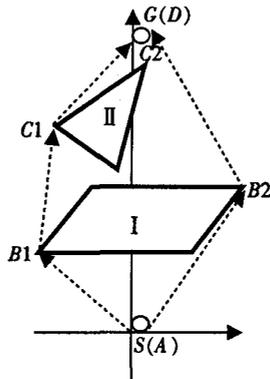
1)以起始点为源点分别对各个障碍物做切线,切点必为状态点.如图3(a)所示.确定点 B_1, B_2, C_1, C_2 .

2)以阶段I为对象,以已确定状态点向目标点作直线,若能直达,则将此边后续已标记状态点省略.若不能直达,则不作任何处理.如图3(b)所示,阶段I中状态点 B_2 能直达目标点,所以舍去此边已标记状态点 C_2 .

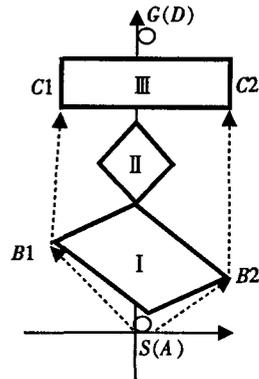
3)以阶段I为对象,以已确定状态点向最后阶段所标记状态点作直线,若能直达,则将此边后续已标记状态点省略.若不能直达,则不作任何处理.如图3(c)所示,阶段I中状态点 B_1, B_2 能直达阶段III所标记状态点,所以省略阶段II中已确定状态点.然后从最末状态往前依次进行处理.



(a)以起始点向障碍物做切线



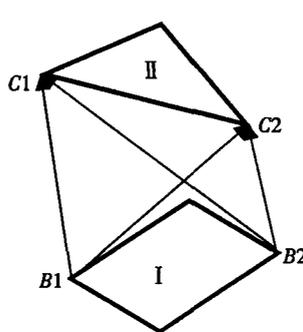
(b)以阶段I为对象向目标点做直线



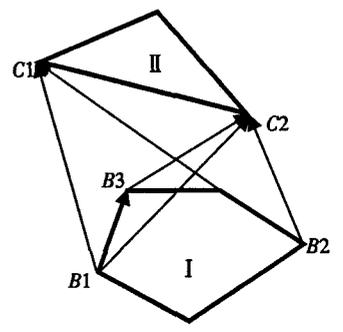
(c)以已确定点向下阶段状态点作直线

图3 各阶段状态点的确定

4)对于相邻两障碍物,如图4所示,判断已确定状态点 B_1, B_2 分别与 C_1 和 C_2 是否能够直线到达,如果能,则就不用再去确定其他状态点.如图4(a);如果不能,则再判定其连线与凸多边形的哪条边相交^[6],在与其相交的边的2个顶点中,以图4(b)为例,连接位置靠近 B_1 的顶点 B_3 和顶点 C_2 形成的折线 $B_1B_3C_2$.然后标记 B_3 点也为状态点.



(a)相邻障碍物状态点可直达时最短路径



(b)相邻障碍物状态点不可直达时最短路径

图4 相邻阶段状态点间最短路径求解示意图

5)按从阶段II到最后阶段的顺序,重复2),3),4)步骤进行处理.

4 实例分析

如图5所示,机器人^[7-8]从起点 $A(S)$ 经过障碍物I, II, III到达目标点 $E(G)$.根据上节所述方法将障碍物I, II, III按阶段分为:B阶段 C阶段 D阶段.同时确定各个阶段的状态点: $B_1, B_2; C_1, C_2, C_3; D_1, D_2, D_3$.然后画出求解路线图.如图6所示.

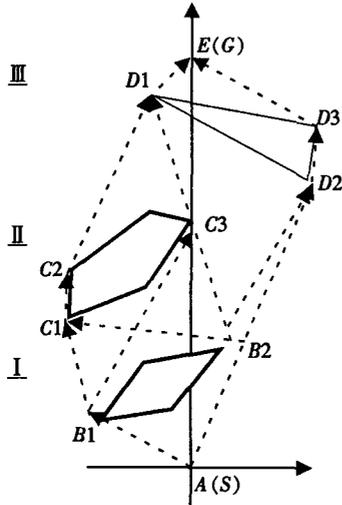


图 5 机器人可行路线图

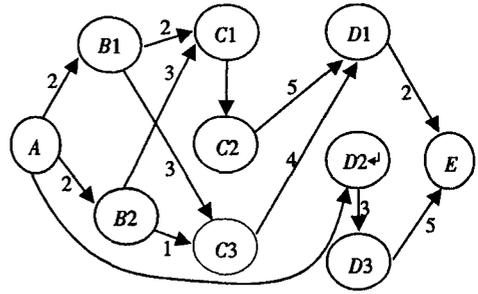


图 6 求解路线图

4.1 动态规划求解过程

根据动态规划递推公式可将所求最短路径分为 4 个小过程：

$N=4$ (D 级), 从第 III 障碍物到目标的距离分别为：

$$J_1(D1)=2; J_1(D2)=8; J_1(D3)=5;$$

$N=3$ (C 级), 从第 II 障碍物到目标的距离分别为：

$$J_1(C1)=d(C1, C2)+d(C2, D1)+J_1(D1)=8$$

$$J_1(C2)=d(C2, D1)+J_1(D1)=7$$

$$J_1(C3)=d(C3, D1)+J_1(D1)=6$$

$N=2$ (B 级), 从第 I 障碍物到目标的距离分别为：

$$J_3(B1)=\min \begin{cases} d(B1, C1)+J_2(C1) \\ d(B1, C3)+J_2(C3) \end{cases} = \begin{cases} 2+8 \\ 3+6 \end{cases} =9$$

$$J_3(B2)=\min \begin{cases} d(B2, C1)+J_2(C1) \\ d(B2, C3)+J_2(C3) \end{cases} = \begin{cases} 3+8 \\ 1+6 \end{cases} =7$$

$N=1$ (A 级), 从起始点到目标的最短距离为：

$$J_4(A)=\min \begin{cases} d(A, B1)+J_3(B1) \\ d(A, B2)+J_3(B2) \\ d(A, B3)+J_1(D2) \end{cases} = \min \begin{cases} 2+9 \\ 2+7 \\ 7+8 \end{cases} =9$$

所以, 可以得出最短距离为 9; 最短路径为 A-B2-C3-D1-E.

4.2 利用 C 进行调试

为方便将 A, B1, B2, C1, C2 等结点按字母顺序记为 1, 2, 3, 4, 5,

6, 7, 8, 9, 10. 调试结果如图 7 所示, 实际最优路径如图 8 所示.

此结果与计算结果一致.

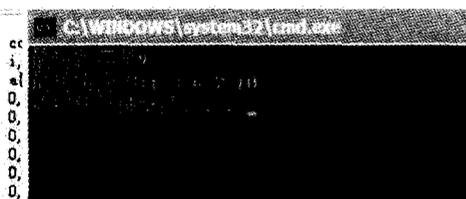


图 7 调试结果

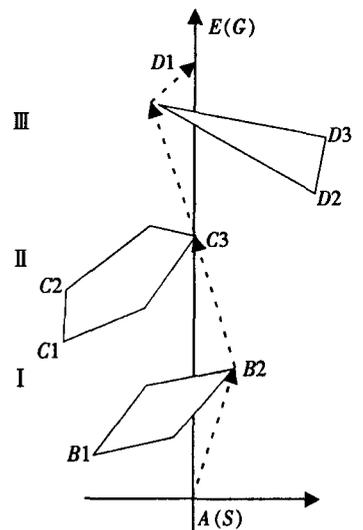


图 8 最优路径

5 结论

本文以可视图法所构建的环境为基础,根据动态规划的知识,使蔽障问题转化为多阶段决策问题,最后进行动态规划求出最终的路径.这种分阶段分层次的求解方法使复杂的路径规划问题得到了简化.在求解的过程中对可视图进行了改进,在分析多种情况下总结了对各阶段状态点确定的有效方法,从而减少了计算量,并通过实例分析证明了该方法的可行性.

参考文献

- [1] 戴光明.避障路径规划的算法研究[D].武汉:华中理工大学,2004.
- [2] 孔峰,陶金,谢超平.移动机器人路径规划技术研究[J].广西工学院学报,2009,20(4): 70-74.
- [3] Oommen B., Iyengar S., Rao N., et al. Robot navigation in unknown terrains using learned visibility graphs, part I: The disjoint convex obstacle case[J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3(6): 823-681.
- [4] 胡寿松,王执铨,胡维礼.最优控制理论与系统[M].北京:科学出版社,2005.
- [5] 徐玖平,胡知能,王绥.运筹学[M].2版.北京:科学出版社,2004.
- [6] 王榕,李新国.高超声速飞行器水平航迹规划算法研究[J].计算机仿真,2008,25(11): 76-79.
- [7] 蒋新松.机器人学导论[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.
- [8] Berg Mark de, Kreveld Marc van, Overmars Mark, et al. 计算几何算法与应用[M].2版.邓俊辉,译.北京:清华大学出版社,2005: 338-348.

Researches of Obstacle-avoiding Paths for Robots Based on the Dynamic Programming Algorithm

ZHANG Hao, LUO Wen-guang, ZANG Qing-kai

(Department of Electronic Information&Control Engineering, Guangxi University of Technology,
Liuzhou 545006, China)

Abstract: In order to simplify the complex path planning for mobile robots and to reduce the computation of feasible path, this thesis explores the path planning of obstacle avoidance in depth. Firstly this paper is based on the problem-solving environment of the visual graph, and transforms the path planning into a matter of multistage decision. Using the improved visual graph and geometry approximation algorithm, this paper solves each stage-problem and gets the shortest path of each stage. It has been proved by computer simulation results that the algorithm is correct, efficient, practical and successful.

Key words: obstacle-avoiding path planning; dynamic planning; visual graph; optimum paths

(责任编辑 李捷)