

基于遗传算法的移动机器人路径滚动规划

徐守江, 朱庆保

(南京师范大学数学与计算机科学学院, 南京 210097)

摘要: 研究了一种全新的基于遗传算法的机器人路径滚动规划方法。该方法将目标点映射在机器人视野域内侧边界附近, 规划出机器人局部最优路径, 机器人根据此局部路径前进一步。机器人每前进一步就重复该过程, 沿一条全局优化的路径安全地到达终点。仿真实验表明, 即使在复杂的未知静态环境下, 利用该算法也可以规划出一条全局优化路径, 且能安全避碰。

关键词: 未知静态环境; 路径规划; 移动机器人; 遗传算法; 滚动规划

Rolling Path Plan of Mobile Robot Based on Genetic Algorithm

XU Shou-jiang, ZHU Qing-bao

(School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

【Abstract】 This paper proposes a new rolling algorithm for path plan of mobile robot based on genetic algorithm. The goal node is mapped to the node nearby the boundary in the eyeshot of the robot, and the best local path is planned, which the robot goes ahead for a step. The algorithm iterates until the robot arrives at the goal node. The path gained is safe and optimal. Simulation results illustrate that the algorithm can be used to plan the optimized path for mobile robot even in the complex and unknown static environment, and the robot can avoid the obstacles safely by the path with the new algorithm.

【Key words】 unknown static environment; path plan; mobile robot; genetic algorithm; rolling plan

移动机器人路径规划属于机器人控制系统研究的重要应用基础问题, 也是机器人研究领域中的一个重要分支。如何保证在复杂环境下规划出全局最优或基本最优的机器人路径一直是该领域的一个研究难题。已有不少学者提出了解决未知环境下机器人路径规划的方法和策略, 诸如基于滚动窗口的规划方法、蚁群算法、遗传算法、以及各类定位、导航方法等^[1-5], 取得了很多成果。然而, 路径规划问题属于NP-hard问题, 不断寻求更好的规划算法是研究的热点。

遗传算法^[5](genetic algorithm, GA)是基于遗传和自然选择的多搜索算法, 具有鲁棒、灵活、在种群中搜索不易落入局部最小点等优点, 许多研究表明, 遗传算法在规划机器人路径中取得了较好的效果^[6-7], 但不能很好地解决未知复杂静态环境下的机器人路径规划问题。

1 环境描述

记AS为机器人Rob在二维平面上的凸多边形有限运动区域, 其内部分布着有限个静态障碍物 b_1, b_2, \dots, b_n 。在AS中以AS左上角为坐标原点O, 以横向为X轴, 纵向为Y轴建立系统直角坐标系。假设机器人在水平方向上的行走步长为 Δ , 并且AS在X, Y方向的最大值分别为 X_{max} 和 Y_{max} 。以 Δ 为步长形成一个栅格。则每行的栅格数 $N_x = X_{max} / \Delta$, 每列的栅格数 $N_y = Y_{max} / \Delta$ 。其中, $b_i (i=1, 2, \dots, n)$ 占一个或多个栅格, 不满一个栅格时算一个栅格。记 $g \in AS$ 为任意栅格, A为AS中g的集合, $S = \{b_1, b_2, \dots, b_n\} \subseteq A$ 为静态障碍栅格集。 $\forall g \in A$ 在坐标系中都有确定的坐标 (x, y) , 记作 $g(x, y)$, x为g所在的行号, y为g所在的列号。令 $C = \{1, 2, 3, \dots, M\}$ 为栅格序号集, $g(1,1)$ 的序号为1, $g(1,2)$ 序号为2, $g(2,1)$ 序号为 N_x+1, \dots ; 如图1所示。 $g_i \in A$ 的坐标 (x_i, y_i) 与序号 $i \in C$ 构成互为映射关系, 序号i的坐标可由式(1)确定:

$$x_i = ((i-1) \bmod N_x) + 1, \quad y_i = \text{int}((i-1)/N_x) + 1 \quad (1)$$

其中, int为取整运算; mod为求余运算。

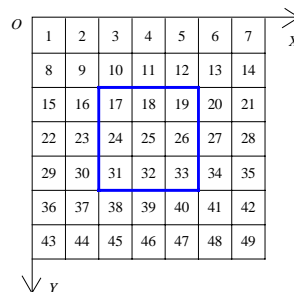


图1 栅格坐标与序号关系

对于任意二维地形, 规划的目的是使机器人由任意起点 G_{begin} , 沿一条较短路径安全到达任意终点 G_{end} , 且 $G_{begin}, G_{end} \notin S$, 其中, $begin, end \in C, begin \neq end$ 。

2 基于遗传算法的机器人路径滚动规划算法

2.1 算法的相关定义

假设机器人Rob的当前位置为 $P_R(t)$, 算法首先将全局目标点映射到Rob的视野域View的边界内侧附近某自由栅格作为局部子目标点 G_{sub} , Rob每前进一步, 都需要用传感器探测其View内的环境信息。再通过局部路径规划获得一条Rob在视野域内的最短局部路径。Rob每前进一步, 都进行局部路径规划。当 G_{sub} 与 G_{end} 重合时, Rob根据当前局部路径规划出

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目(2006218)

作者简介: 徐守江(1983-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 智能技术和智能控制; 朱庆保, 教授

收稿日期: 2006-10-25 **E-mail:** xsj040902@163.com

的最优路径直接走向 G_{end} 。本算法中,Rob总是以最终目标点的方向为前进目标,其特点是利用 G_{sub} 来引导机器人。图2给出了在 $View$ 环境下找到的局部优化路径,其中, d 为 G_{sub} 与 $View$ 任意边界间距离,取1。Rob每走一步,修改的是一条局部路径而不是一步,加上局部路径较短,因此可以保证Rob行走安全避碰,且所走路径全局最优或较优。

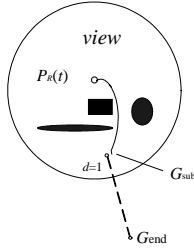


图2 子目标映射和局部路径示意图

GA是以自然选择和遗传理论为基础,将生物进化过程中适者生存规则与群体内部染色体的随机信息交换机制相结合的高效全局寻优算法。本文提出的机器人滚动规划算法就是基于GA的一种优化算法。以机器人的当前点 $P_R(t)$ 到 G_{sub} 之间的一条运动路径作为一个个体。由于不同的运动路径长度各不相同,因此采用可变长度的染色体编码表示个体,每个染色体编码采用栅格序号法。初始化种群时引入间断无障碍路径概念,用一系列随机的、不一定连续的机器人 $View$ 范围内的自由栅格连接机器人的当前位置 $P_R(t)$ 到子目标 G_{sub} 。通过交叉、变异、插入、删除等,算子完成某时刻机器人的当前点 $P_R(t)$ 到子目标 G_{sub} 的路径优化。

为了叙述方便,进一步作出如下约束和定义:

定义1 任意栅格间的距离指两栅格间的连线长度,记作 $d(g_i, g_h), i, h \in C$,由式(2)计算:

$$d(g_i, g_h) = \sqrt{(x_i - x_h)^2 + (y_i - y_h)^2} \quad (2)$$

定义2 $View(P_R(t)) = \{P|P \in A, d(P, P_R(t)) \leq r\}$ 称为Rob在位置 $P_R(t)$ 处的视野域。

定义3 在Rob当前位置 $P_R(t)$ 处的视野域 $View(P_R(t))$ 内存在若干空白栅格。无障碍序号集定义为所有 $View(P_R(t))$ 内空白栅格组成的集合,记作 $K(t) = \{k | k \in View(P_R(t)) \text{ 且 } k \notin S\}$ 。

定义4 间断无障碍路径 $Path = \{c_0, c_1, c_2, \dots, c_k, c_{k+1}\}$,其中, $c_0 = P_R(t); c_{k+1} = G_{\text{sub}}, c_1, c_2, \dots, c_k \in K(t)$ 。

2.2 算法步骤

根据以上原理和定义,基于遗传算法的机器人路径滚动规划步骤描述如下:

Step1 产生任意的起点 G_{begin} 和 G_{end} ,并对有关参数进行初始化。

Step2 将目标点 G_{end} 映射到Rob视野域 $View$ 边界内作为局部子目标 G_{sub} 。其中产生局部子目标的映射算法如下:

在 t 时刻,Rob的视野域为 $View(P_R(t))$ 。若有 $d(P_R, G_{\text{end}}) = r$,则取 $G_{\text{sub}} = G_{\text{end}}$,此时 G_{sub} 与 G_{end} 相同。否则令

$$d(P_R, G_{\text{sub}}) = r \text{ 且 } \min d(G_{\text{sub}}, G_{\text{end}}) \quad (3)$$

其中, $G_{\text{sub}} \in C$, G_{sub} 对应的栅格为自由栅格; r 为Rob的视野域 $View$ 的半径; C 为Rob的行走步长,均为已知。因为 $G_{\text{sub}}, G_{\text{end}}$ 间的距离最短,并且 G_{sub} 对应的栅格为自由栅格, P_R 与 G_{end} 点的坐标为已知,由式(3)可求出 G_{sub} 。

Step3 Rob在当前位置 $P_R(t)$ 进行环境探测,识别出静态障碍物 b_o 。

Step4 在Rob当前视野域 $View(P_R(t))$ 中随机产生若干条间断无障碍路径 $Path$ 作为初始种群 $P_i(T) = \{Path^1, Path^2, \dots, Path^M\}$,其中, M 为种群规模; $T=0$ 。这些间断无障碍路径是一系列随机选择的、不一定连续的栅格序号,并且这些路径满足定义4的约束条件,特例为 $\{P_R(t), G_{\text{sub}}\}$ 。

Step5 根据式(4)计算群体 $P_i(T)$ 第 q 个个体的适应度值:

$$F_q = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{n_q - 1}}\right) D_q \quad q = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

其中, n_q 为第 q 个个体所通过的栅格数目总和; $D_q = \sum_{j=1}^{n_q-1} d(g_j, g_{j+1})$,

$g_j \in Path_{q_0}$

Step6 计算出每个个体 q 的相对适应度值的大小: F_q / F_q ,按照赌盘法选择当前群体中适应度较高的个体。

Step7 采用重合点交叉法对当前群体交叉运算。以一定的概率随机选择一对个体 $Path^i, Path^j$ 选择栅格号相同的点进行交叉操作。当相同的点多于一个时,随机选择其一进行交叉。

假设 $Path^i = \{P_R(t), c^i_1, c^i_2, c^i_4, \dots, c^i_k, G_{\text{sub}}\}$, $Path^j = \{P_R(t), c^j_1, c^j_2, c^j_4, \dots, c^j_k, G_{\text{sub}}\}$,当选择第4个位置作为交叉点,则交叉后产生2个新的个体: $Path^i = \{P_R(t), c^i_1, c^i_2, c^j_4, \dots, c^i_k, G_{\text{sub}}\}$; $Path^j = \{P_R(t), c^j_1, c^j_2, c^i_4, \dots, c^j_k, G_{\text{sub}}\}$ 。

Step8 以概率 P_c 随机选择一个个体进行变异操作。该操作可为3种:(1)随机产生一个变异位置并从该个体中删除该位置对应的序号,但不包括 $P_R(t), G_{\text{sub}}$;(2)随机产生一个变异位置,插入一个新的序号;(3)用一个新的序号代替随机产生的变异序号。每次变异时,按照一定的概率选择其一。

Step9 利用插入算子把群体 $P_i(T)$ 中间断路径用自由栅格弥补,使之成为连续路径。对个体 q 的染色体 $Path^q$ 可采用式(5)判别个体 q 中两相邻序号 c_w, c_{w+1} 是否连续:

$$\Delta = \max\{\text{abs}(x_{w+1} - x_w), \text{abs}(y_{w+1} - y_w)\} \quad (5)$$

其中, $x_w, y_w, x_{w+1}, y_{w+1}$ 分别为 c_w, c_{w+1} 所对应的直角坐标,若 $\Delta=1$,则 c_w, c_{w+1} 连续,否则不连续。图1中粗线范围内表示序号25栅格的几个连续栅格(序号25除外)。

不连续时,采用中值法计算候补插入点:

$$\begin{cases} x'_w = (x_w + x_{w+1})/2 \\ y'_w = (y_w + y_{w+1})/2 \\ c'_w = x'_w + 10y'_w \end{cases} \quad (6)$$

若得到的 c'_w 为自由栅格,则可将其直接插入。如 c'_w 为障碍栅格,则选择一个与 c'_w 距离最近的自由栅格作为新的候补插入点,若找不到这样的候补插入点,即宣告插入操作失败,舍去该个体,否则就用新的候补点插入到 c_w, c_{w+1} 之间。上述插入过程重复执行,直到个体变成可通行路径为止。

Step10 删除算子以简化路径。检查群体 $P_i(T)$ 中的每个个体是否具有相同序号,若有则将两相同之间的冗余序号和相同序号中的一个一并删去形成新的个体。

Step11 T 自动加1。判断 T 是否到达指定的迭代次数 MAX ,若未达到转Step5,否则继续。

Step12 选出当前群体中最优的个体,若 G_{sub} 不等于 G_{end} ,Rob按照此个体表示的局部最优路径向 G_{sub} 前进一步并返回Step2,否则Rob按照此个体表示的局部最优路径直接走向目标点。

3 仿真实验

为了在不影响总体结果的前提下简化仿真实验,假设机器人的视野域为 11×11 的方形,并且在求 G_{sub} 时规定机器人

视野域边界内侧两相邻栅格的距离都为 1。对于图 3 所示的复杂地形，黑色表示障碍格。图 3 示出了用本文算法得到的从 G_{begin} 到右下角 G_{end} 的一条路径，很显然机器人沿着这条路径不仅能安全避障，而且该路径长度基本最优，这是目前大多数算法做不到的。图 4 表明在相同环境和相同起终点要求时，基于滚动窗口规划方法未达终点。

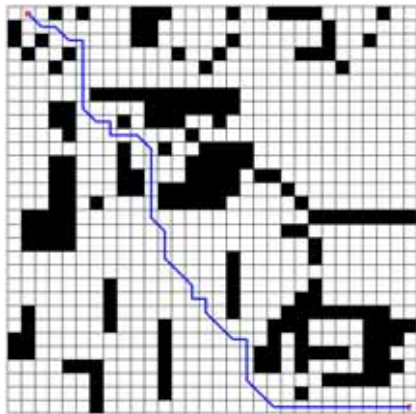


图 3 本文算法得到的全局优化路径

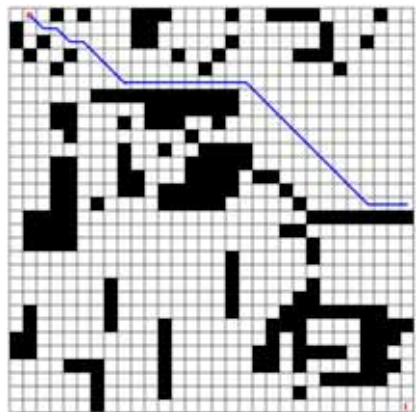


图 4 基于滚动窗口规划方法未达终点

图 5~图 7 给出了实验过程中的分解子过程，其中，粗线矩形域为 Rob 的视野域范围。图 5 给出了 Rob 在起点时的部分视野域以及规划出来的局部优化路径；图 6、图 7 分别表示 Rob 从起点前进 1 步、7 步后再次规划出的局部路径。从图 5~图 7 可以看出，Rob 仅沿每次规划出的局部路径走一步，但它构成了一种全局的引导趋势，因此不仅能避障，而且可以使所走路径全局最优或较优。

为了说明算法的有效性，图 8 给出了环境随机生成时规划出的全局路径。

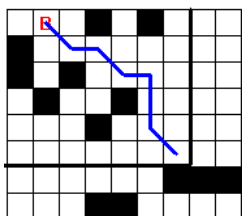


图 5 第 1 个局部路径

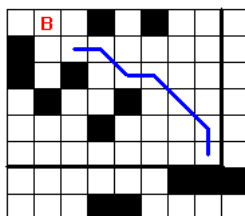


图 6 第 2 个局部路径

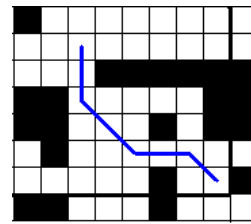


图 7 第 8 个局部路径

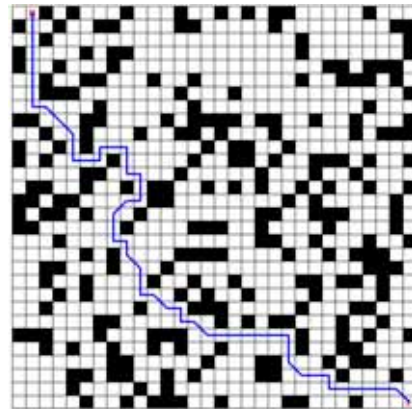


图 8 对于环境随机生成本文算法得到的全局优化路径

4 结论

如何在复杂的未知静态环境中规划出全局最优或较优的机器人路径一直是这一领域的研究难点。环境建模采用了栅格法，使得建模容易并且使算法简单易实现。本文的算法首先将最终目标点映射到机器人视野域外部作为局部子目标，由机器人探测环境，再利用遗传算法规划出一条静态局部优化路径。机器人根据此局部路径前进一步，且每前进一步都要进行场景探测，并重新进行局部路径的规划。当局部子目标和目标点相同时，机器人沿着规划好的路径直接走到目标点。在每个视野域内经优化的局部路径的引导下，机器人所走的路径为全局最优或较优。

参考文献

- 1 Yi Xiao, He You, Guan Xin. Cooperative Location Model under the Nearest Neighbor Criterion Position Location and Navigation[C]// Proc. of Position Location and Navigation Symposium. 2004.
- 2 张纯刚, 席裕庚. 全局环境未知时基于滚动窗口的机器人路径规划[J]. 中国科学(E 辑), 2001, 31(1): 51-58.
- 3 朱庆保, 张玉兰. 基于栅格法的机器人路径规划蚂蚁算法[J]. 机器人, 2005, 27(2).
- 4 Bruce J, Veloso M. Real-time Randomized Path Planning for Robot Navigation[C]//Proc. of IEEE/RJS International Conference on Intelligent Robots and System. 2002.
- 5 周 名, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- 6 孙树栋, 林 茂. 基于遗传算法的多移动机器人协调路径规划[J]. 自动化学报, 2000, 26(5).
- 7 陈 刚, 沈林成. 复杂环境下路径规划问题的遗传路径规划方法[J]. 机器人, 2001, 23(1).