

基于模糊神经网络势场法的机器人动态路径规划

周文明, 张崇巍

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 针对机器人局部路径规划的特点和传统人工势场理论存在不足的问题, 采用改进的斥力势场函数, 将机器人与目标的相对距离和速度考虑在内以解决局部最小值问题。引入神经网络模糊系统, 兼顾了系统的鲁棒性和快速性, 并在应用实例中得到了有效的验证。

关键词: 神经模糊方法; 人工势场法; 路径规划

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)11-0089-03

Robot dynamic path planning based on neural network fuzzy control artificial potential field method

Zhou Wenming, Zhang Chongwei

(School of Electrical Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: According to the character of the robot path planning, we improved the conventional theory of artificial potential field, the relative distance between the robot and the goal was considered to solve the local minimum problem. By introducing neural networks into fuzzy system, the controller takes both system robustness and fastness into account and the effectiveness is verified in application.

Key words: neuro-fuzzy approach; artificial potential field method; path planning

导航技术研究一直是移动机器人研究的重要方向, 移动机器人导航就是机器人能够按照事先获取的地图信息^[1], 或根据通过对外部环境的实时探测所提供的引导信号规划出一条相对最优路径, 使机器人在没有人工干预的情况下, 能沿着该路径尽快和无碰撞的移动到目标点。

人工势场法的结构简单, 比较容易掌握, 便于底层的实时控制, 规划出的路径一般比较平滑安全, 在机器人的局部路径规划中被广泛地采用^[2]。但人工势场法只适合静态环境下的路径规划, 对于动态环境下运动目标的路径规划, 则很少涉及。本文中, 在一般人工势场法的基础上, 针对动态环境中的目标和障碍物都是运动的条件下, 提出了一种改进的人工势场法。通过在引力势场函数和斥力势场函数中引入相对速度和安全距离解决了动态环境下路径规划的问题, 基于模糊逻辑控制方法(fuzzy logic control approach)^[3]引入人的经验以实现机器人避障, 这种方法的困难在于模糊规则难以确定。而神经模糊方法(neuro-fuzzy approach)^[4]能够自动产生模糊

规则, 本文引入神经网络和模糊控制对参数进行优化^[5-6]。计算机仿真证明了这种改进的人工势场法的有效性。

1 传统人工势场法及缺陷

Khatib 于 1986 年提出人工势场法用于机器人避障, 其基本思想是构建一个虚拟的力场, 目标引力场 U_a 产生的吸引力 F_a 随机器人与目标位置的接近而减小, 方向指向目标点。障碍物的斥力场 U_r 产生的排斥力 F_r 随机器人与障碍物的距离的减少而迅速增大, 方向背离障碍物。人工势能的总和取总势函数梯度下降的方向, 即沿排斥力矢量和吸引力矢量和的方向实现无碰撞路径规划。传统的人工势场法只考虑位置因素, 是位置的函数。在动态障碍物的环境就会暴露出很多不足, 除了局部最小问题出现的概率增大之外, 还存在因躲避不及而相碰以及原本不会发生碰撞但机器人却做出了无谓的避碰运动。当目标点处在障碍物的斥力场范围内时, 机器人可能始终无法到达目标点。

传统的引力场函数定义为机器人与目标的相对位置的函数, 即相对位置引力场函数:

《微型机与应用》2011 年第 30 卷第 11 期

技术与方法 Technique and Method

$$U_{\varphi} = \frac{1}{2} \alpha \| P_g(t) - P(t) \|^2$$

α 为增益系数, P_g 为目标的位置, P 为机器人的位置。

传统的斥力场函数定义为机器人与障碍物之间的距离函数, 即相对位置斥力场函数, 本文定义第 i 个障碍物的斥力场为:

$$U_{\varphi i} = \zeta \ln \| P_{\alpha i}(t) - P(t) \|^2$$

ζ 为增益系数, $P_{\alpha i}$ 为第 i 个障碍物的位置。

2 改进的人工势场法

本文对动态环境下的避障和路径进行规划, 在引力场函数和斥力场函数中引入相对速度:

$$U_w = \frac{1}{2} \beta \| V_g(t) - V(t) \|^2 \quad (1)$$

β 为增益系数, V_g 为目标点的运动速度, V 为机器人运动速度。

$$U_{wi} = \gamma \| V_{\alpha i}(t) - V(t) \| \sin \theta = \gamma V_{\alpha i}(t) |\sin \theta| = \gamma V_{\alpha i}(t) \frac{Y_{ro}}{\sqrt{X_{ro}^2 + Y_{ro}^2}} \quad (2)$$

障碍物相对于机器人的速度方向为 X 轴, Y 轴是机器人当前的运动方向, 障碍物的位置作为坐标原点^[7], 建立平面直角坐标系, 如图 1 所示。其中 $V_{\alpha i}$ 为障碍物速度, V_{or} 表示障碍物相对于机器人的速度, $\theta \in (-\pi, \pi)$ 表示机器人相对于障碍物的位置矢量与相对速度矢量的夹角, 大小为 $\theta = \theta_r - \theta_o$ 。记机器人相对于障碍物的位置坐标为 (X_{ro}, Y_{ro}) 。 d_m 是允许的障碍物 O 与机器人 R 的最短距离, θ_m 是避碰角。

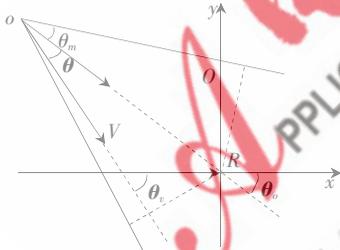


图 1 障碍物在机器人坐标系的位置和速度关系

对位置引力场函数和速度引力场函数求负梯度, 即可得到位置引力和速度引力:

$$F_{\varphi} = -\nabla p \cdot U_{\varphi} = \alpha [P_g(t) - P(t)] \quad (3)$$

$$F_w = -\nabla v \cdot U_w = \beta [V_g(t) - V(t)] \quad (4)$$

$$U_a = U_{\varphi} + U_w = \frac{1}{2} \alpha \| P_g(t) - P(t) \|^2 + \frac{1}{2} \beta \| V_g(t) - V(t) \|^2 \quad (5)$$

在考虑时变的速度对人工势场的影响之后其引力的合力为:

$$F_a = F_{\varphi} + F_w = \alpha [P_g(t) - P(t)] + \beta [V_g(t) - V(t)] \quad (6)$$

同理, 对位置斥力场函数和速度斥力场函数求微分, 可得位置斥力和速度斥力:

$$F_{\varphi i} = -\nabla p \cdot U_{\varphi i} = -\zeta \frac{P_{\alpha i}(t) - P(t)}{\| P_{\alpha i}(t) - P(t) \|^2} \quad (7)$$

《微型机与应用》2011年第30卷第11期

$$F_{wi} = \nabla v \cdot U_{wi} = \frac{\gamma V_{\alpha i}(t) X_{ro}}{(X_{ro}^2 + Y_{ro}^2)^{3/2}} (-Y_{ro}, X_{ro}) =$$

$$\begin{cases} \frac{\gamma V_{\alpha i}(t)}{\sqrt{X_{ro}^2 + Y_{ro}^2}} \cos \theta (-\sin \theta, \cos \theta), 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ -\frac{\gamma V_{\alpha i}(t)}{\sqrt{X_{ro}^2 + Y_{ro}^2}} \cos \theta (-\sin \theta, \cos \theta), -\frac{\pi}{2} \leq \theta < 0 \end{cases} \quad (8)$$

$\cos \theta < 0$ 时, 障碍物远离机器人运动方向, 不会发生碰撞, 此时令相对速度斥力为 0, 另外, 当机器人与障碍物超过一定的安全距离 d_m 时, 可以不考虑斥力的影响, 以上各斥力的前提是 $\| P_{\alpha i}(t) - P(t) \| < d_m$ 。当 $\| P_{\alpha i}(t) - P(t) \| \geq d_m$ 时, 斥力为 0。

因此, 在考虑时变的速度对人工势场的影响之后斥力的合力为:

$$F_r = \sum_{i=1}^N (F_{\varphi i} + F_{wi}) = \sum_{i=1}^N \left(-\zeta \frac{P_{\alpha i}(t) - P(t)}{\| P_{\alpha i}(t) - P(t) \|^2} + \frac{\gamma V_{\alpha i}(t) X_{ro}}{(X_{ro}^2 + Y_{ro}^2)^{3/2}} (-Y_{ro}, X_{ro}) \right) \quad (9)$$

式中, N 为障碍物的个数。

在引入相对速度斥力之后, 虽然不能完全消除局部极值点, 但可以使极值点的出现几率大大降低, 并且消除了机器人在障碍物附近出现振荡的可能性。修改后的引力函数和斥力函数中各有两个分量, 即位置分量和运动分量。本文结合神经网络控制方法和模糊控制方法, 设计两个双输入单输出模糊控制器, 从而实现两个分量系数的调整: (1) 障碍物和机器人的位置关系, 可利用它们之间的距离 P 和运动方向的夹角 θ 确定; (2) 运动关系, 可利用它们之间的速度偏差 V_{or} 和运动方向夹角 θ 确定。

3 神经网络模糊控制器的设计

根据大量的实验和个人经验, 可获得一组经验数据。数据包括: 机器人与物体的距离、机器人与物体相对运动大小的夹角, 以及人工势场法的增益系数。利用 MATLAB 中的 Anfis 工具, 由这组数据计算推理得出一个描述该系统的 Sugeno 型 FIS^[8]。

以 2 输入、1 输出来建立一个模糊系统。

在 Anfis 编辑器中导入经验数据, 模糊子集数目选择为 [7 7], 隶属函数类型为 “gbellmf” (钟形), 生成初始 FIS 的方法。采用网格分割法并按照 C-均值聚类方法建立模糊系统。对建立好的初始模糊系统进行训练, 神经网络训练用 “混合法 (hybird)”, 训练误差为 0, 训练次数选择 150。如果训练的最终误差不够理想, 可以增加训练次数。

训练结束之后, 可以在 MF 编辑器界面中观察输入与输出的隶属函数, 以及模糊规则。这样, 利用神经网络很好地处理了建立模糊系统时生成模糊规则以及调整隶属函数等繁杂工作, 并克服了模糊理论不具备自学习的能力和神经网络难以表达人类自然语言的缺点。在实

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 97

技术与方法 Technique and Method

实际仿真运行中,可根据仿真效果对各隶属函数及模糊规则进行简单调整。

根据人工势场法建立的函数,针对其四个参数分别建立模糊控制器。模糊控制器以机器人与物体的距离 P 和运动方向的夹角 θ 为输入,模糊控制器的隶属度函数和模糊规则根据神经网络训练获得。其结构图如图 2 所示。

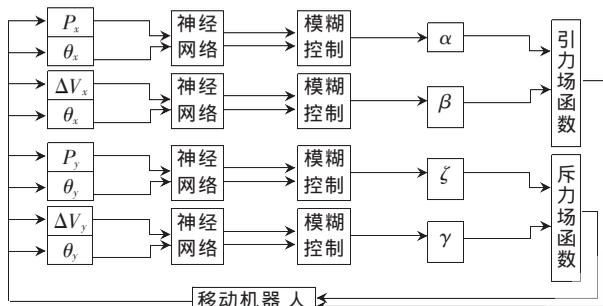


图 2 神经网络模糊控制器结构图

神经网络模糊制器,融合了模糊理论和神经网络的优点,能够及时调整人工势场函数的各参数,从而进一步改变控制决策,在对系统的控制中获得更好的效果。

4 试验分析

本文对动态障碍环境下机器人路径规划问题进行了探讨研究,在传统的人工势场法的基础上引入相对速度,降低了极值点的出现机率,并且使用神经网络模糊控制方法来实现修改后的引力函数和斥力函数中两个分量系数的调整,仿真结果表示该方法是可行的。在图 3 中使用传统的势场法控制时,机器人在勉强避开第一个障碍后与第二个障碍物迎面碰撞,没能跟随到达目标。而使用本文算法的机器人有效地避开了两个运动的障碍并且成功到达目标,如图 4 所示。图中带圆圈的实线表示机器人的避障轨迹,带圆圈的虚线是目标的运动轨迹。带星号的实线和虚线是两个障碍物各自的运动轨迹。

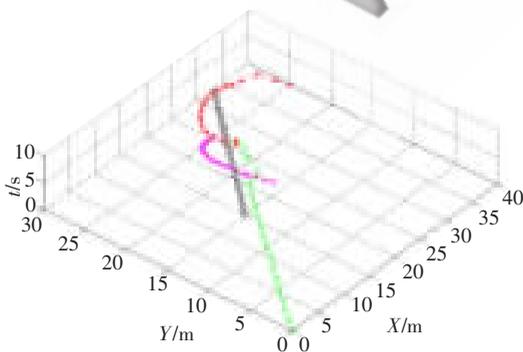


图 3 传统势场法的机器人避障

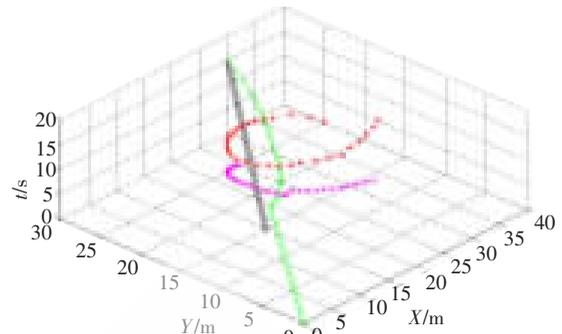


图 4 基于模糊神经网络势场法的避障

研究表明,与传统的人工势场法相比,本文方法不存在局部最小问题。由于增加了安全距离和相对速度,增加了对运动障碍的有效规避,也避免了一些无谓的避障动作,而模糊神经网络的引入使得控制具有一定的自适应性和实时性,且算法直观明确,加入经验值,在实验过程中可以反复调试,使移动机器人具有类人的决策。

参考文献

- [1] 徐玉华,张崇巍.基于激光测距仪的移动机器人避障新方法[J].机器人,2010,32(2):179-183.
- [2] KROGH B H. A generalized potential field approach to obstacle avoidance control [C]. International Conf. On Robotics Research,1984.
- [3] LEE T L, WU C J. Fuzzy motion planning of mobile robots in unknown environments [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2003, 37(2): 177-191
- [4] ACOSTA L, MARICHAL G N, MORENO L, et al. Obstacle avoidance using the human operator experience for a mobile robot [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2000, 27(4): 305-319.
- [5] 从爽.神经网络、模糊系统及其在运动控制中的应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2001.
- [6] KIM B N, KWON O S, KIM K H, et al. A study on path planning for mobile robot based on fuzzy logic controller[C]. IEEE TENCON, 1999[C]. 1999: 1002-1005.
- [7] 段华,赵东标.动态环境下基于势场原理的避障方法[J].华中科技大学学报,2006(9):38-56.
- [8] 石辛民,郝整清.模糊控制及其 MATLAB 仿真[M].北京:清华大学出版社,2006.

(收稿日期:2010-12-24)

作者简介:

周文明,男,1985年生,硕士研究生,主要研究方向:检测与自动化装置。

《微型机与应用》2011年第30卷第11期