文章编号: 1002-0446(2001)07-0605-04

神经网络在机器人路径规划中的应用研究

刘成良 张 凯 付 庄 曹其新 殷跃红 (上海交通大学机器人研究所 上海 200030)

摘 要:机器人路径规划是人工神经网络应用于机器人控制的重要内容:本文提出采用碰撞罚函数进行无碰 撞轨迹规划,给出了无碰撞轨迹规划的人工神经网络算法,并进行了计算机仿真

关键词: 人工神经网络; 机器人; 轨迹规划; 计算机仿真 中图分类号: TP24 **文献标识码**: B

APPL ICATION RESEARCH OF ART IF IC IAL NEURAL NETWORK IN ROBOT TRAJECTORY PLANNING

L U Cheng-liang ZHANG Kai FU Zhuang CAO Q i-xin Y N Yue-hong (Research Institute of Robotics Shanghai J iaotong University, Shanghai 200030)

Abstract The application of artificial neural network in robot trajectory planning is studied The penalize function method is used in collision free trajectory planning and the BP algorithm is given in avoiding collision. At the last, the computer simulation is provided

Keywords: ANN, robot, trajectory planning, computer simulation

1 引言(In troduction)

人工神经网络是由大量简单的神经元相互连接 而形成的自适应非线性动态系统 人工神经网络的 研究可以追溯到本世纪40年代,1943年心理学家 W.M.eCulloch 和数学家W. Pitts 首次提出神经元的 数学模型即MP模型 1957 年 Rosenblatt 制作了 Perceptron 感知机,首次把人工神经网络理论付诸工 程实践 60 年代W idron 提出了自适应线性元件网 络 80 年代初 Hopfield 二篇关于人工神经网络的研 究论文奠定了其软件描述、硬件实现的基础 1986 年 Rumelhart 和M cclelland 提出了多层网络的递学习 算法即BP 算法,该算法从后向前修正各层之间的连 接权重,可以求介感知机无法解决的问题,人工神经 网络控制由此发展起来 机器人控制是人工神经网 络广泛应用的研究领域,其中机器人路径规划是其 重要的研究内容 路径规划问题是要找到一条从起 始位置到目标位置的无碰撞路径,通常解决这个问 题的方法是首先构造一个数据结构来表示工作空 间,然后通过对这个数据结构搜索寻找到一条无碰

撞路径 已提出的方法主要有: 位型空间法^[1]、图搜索 法^[2~3]、拓扑法等^[4~5], 这些方法通常存在组合爆炸 问题, 从二维扩展到三维寻优也存在很大困难.

本文给出一种并列连接神经网络结构, 该神经 网络对一系列的路径点进行规划; 目标是整个路径 长度最短, 同时又尽可能远离障碍物, 它等效于优化 一个代价函数, 该函数由路径长度和碰撞罚函数两 部分组成

2 无碰撞路径表示(Expression of free-collision trajectory)

无碰撞路径可用一系列的中间点表示,相邻之间用线段相连为对路径与障碍物之间的碰撞性质加以量化,一条路径的碰撞罚函数定义为各路径点的碰撞罚函数之和一个点的碰撞罚函数是通过它对各障碍物的NN表示得到的

基本思路: 障碍物均假设为多面体, 可用一组线 性不等式表示, 即在障碍物中的点必须满足所有不

收稿日期: 2001- 08- 25

2

等式的限制,模型如图1所示



图1 障碍物罚函数NN 图 Fig 1 NN structure of penalty function for obstacle

底层三个节点分别表示给定路径点的坐标 x、v、 z, 中间层的每个节点相应于障碍物的一个不等式限 制条件,底层和中间层连接权系数等于不等式中x、 y、z 前面的系数 中间层每个节点的阈值等于不等式 中的常数项 中间层到顶层的连接权均为 1. 顶层节 点的阈值取为不等式个数减去05后的负数 该连 续NN 的运算关系为

$$C = f (T_{I})$$

$$T_{I} = \bigcup_{m=I}^{M} O_{M_{m}} + \Theta_{T}$$

$$O_{M_{m}} = f (I_{M_{m}})$$

 $I_{M_m} = w_{xm} x_i + w_{ym} y_i + w_{zm} z_i + \boldsymbol{\theta}_{I_m}$

符号含义:

C 顶层结点输出;

T:顶层结点输入:

θ 顶层结点阈值:

*O*_M, 中间层第*m* 个结点的输出;

Im_ 中间层第m 个结点的输入;

 θ_{i_m} 中间层第*m*个结点的阈值;

w xm、w ym、w zm 第m 个不等式限制条件的系数, 这 里取激发函数为 *s* 形函数 $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x/r}}$

它反应出空间给定点与障碍物的碰撞程度,输 出数越大该点越接近障碍物的中心: 越小该点越远 离障碍物

3 物体表示为质点时的路径规划(Trajectory planning of pointed object)

路径规划要解决两个问题: 一是避免物体与障 碍物碰撞:二是路径为最短 这两个约束可以量化. 路径规划问题变为优化问题,其优化的能量函数由 路径长度和碰撞罚函数两部分组成

碰撞罚函数的能量表示

$$E_{c} = \sum_{i=1}^{N} C_{i}^{k}$$

 $K: 障碍物的个数; C_i^k: 第 i 个路径点 P_i 对第个障碍物$ 碰撞罚函数

路径长度的能量表示: 为所有线段长度的平方 之和

对所有路径点 $P_i(x, y, z)$, i=1, 2, ..., N 定义:

$$E_{l} = \sum_{i=1}^{N-1} L_{i}^{2} = \sum_{i=1}^{N-1} [(x_{i+1} - x_{i})^{2} - (y_{i+1} - y_{i})^{2} + (z_{i+1} - z_{i})^{2}]$$

L: 表示第 i 个线段长度; E: 表示整个路径长度 整个路径总能量: $E = w_i E_{i+w_i} E_{i,w_i,w_i}$ 表示对 每一部分的加权

使整个能量 E 极小意味着该路径长度较短,并 较少与障碍物碰撞 ++ ==

$$E = (\nabla_{pi}E)^{T}p_{i}^{\circ} =$$

$$\begin{bmatrix} w_{l}\left(\frac{\partial L_{i}^{2}}{\partial x_{i}} + \frac{\partial L_{i-1}^{2}}{\partial x_{i}}\right) + w_{c} & \frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial x_{i}}\right)x_{i}^{\circ} \\ + \left(w_{l}\left(\frac{\partial L_{i}^{2}}{\partial y_{i}} + \frac{\partial L_{i-1}^{2}}{\partial y_{i}}\right) + w_{c} & \frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial y_{i}}\right)y_{i}^{\circ} \\ + \left(w_{l}\left(\frac{\partial L_{i}^{2}}{\partial z_{i}} + \frac{\partial L_{i-1}^{2}}{\partial z_{i}}\right) + w_{c} & \frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial z_{i}}\right)z_{i}^{\circ} \end{bmatrix}$$

$$x_{i}^{\circ} = -\eta \left(w_{l}\left(\frac{\partial L_{i}^{2}}{\partial x_{i}} + \frac{\partial L_{i-1}^{2}}{\partial x_{i}}\right) + w_{c} & \frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial z_{i}}\right)z_{i}^{\circ}\right)$$

$$y_{i}^{\circ} = -\eta \left(w_{l}\left(\frac{\partial L_{i}^{2}}{\partial x_{i}} + \frac{\partial L_{i-1}^{2}}{\partial y_{i}}\right) + w_{c} & \frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial x_{i}}\right)$$

$$y_{i}^{\circ} = -\eta \left(w_{l}\left(\frac{\partial L_{i}^{2}}{\partial z_{i}} + \frac{\partial L_{i-1}^{2}}{\partial z_{i}}\right) + w_{c} & \frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial z_{i}}\right)$$

$$E = -\frac{1}{\eta} \left(x_{i}^{2} + y_{i}^{2} + z_{i}^{2}\right) < 0$$

只有 $x_i^2 = 0$, $y_i^2 = 0$, $z_i^2 = 0$ 时才有 E = 0, 这时 E 取最小值 所得结果即为要求的路径

$$\frac{\partial L_{i}^{2}}{\partial x_{i}} + \frac{\partial L_{i-2}^{2}}{\partial x_{i}} = -2x_{i+1} + 4x_{i} - 2x_{i}$$

$$\frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial x_{i}} = \left(\frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial (T_{i})_{i}^{k}}\right) \left(\frac{\partial (T_{i})_{i}^{k}}{\partial x_{i}}\right) = \left(\frac{\partial C_{i}^{k}}{\partial (T_{i})_{i}^{k}}\right)^{M} \left(\frac{\partial (O_{M_{m}})_{i}^{k}}{\partial (I_{M_{m}})_{i}^{k}}\right) \left(\frac{\partial (I_{M_{m}})_{i}^{k}}{\partial x_{i}}\right) = f'[(T_{i})_{i}^{k}]_{m=1}f'[(I_{M_{m}})_{i}^{k}]w_{xm}^{k}$$

$$in P_{i}(x_{i}y_{i}z_{i})$$
的动态运动方程为

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



其中

$$f'(\bullet) = \frac{1}{T}f(,)[1 - f(,)]$$

4 计算机仿真(Computer simulation)

4.1 碰撞罚函数分析

已知矩形障碍物如图 2 所示, 描述该障碍物的 4 个不等式限制条件是:

图 3 表示相应的神经网络 图 4 给出不同 T 值 下的碰撞罚函数三维图

由图 4 可以看出, 当 *T* 值很大时罚函数能量曲 面在障碍物的边界变化较平缓, 它只能粗略反映障 碍物的形状, 这时在障碍物内部罚函数能量曲面有





图 2 矩形障碍物





图 3 神经网络 Fig 3 Neural network







图 4 碰撞罚函数三维图 Fig 4 3D shape for collision penalty function

当 T 值很大时罚函数好象一个开关, 路径点在障碍

物的内部输出为 1, 在障碍物的外部输出为 0 罚函

数能量曲面除了在障碍物的边界处很陡峭外,其余 地方均很平坦,这就使得路径点很难沿着表面运动 因此合理的选择 *T* 值是求优的关键 采用模拟退火 的方法可以很好解决这个问题;其原理是:所谓模拟 退火就是模拟金属退火的过程,即首先用高温将金 属溶化,然后逐渐缓慢冷却,直到形成良好晶体结 构,进入一种具有最小能量的状态 正是利用参数 *T* 与罚函数能量曲面的这种关系,开始用较高的"温 度"*T* 然后逐渐减小

函数关系



 $\frac{T(t)}{T_0} = \frac{1}{\log(1+t)}$

为加快收敛速度可采用此近似退火规律: 7(t)

= $\frac{1}{1+t}$ 由于开始时 *T* 较大, 障碍物内部罚函数能量 曲面斜度明显, 路径点很容易找到低洼的方向寻优 随着时间的增加, *T* 值变小, 障碍物的边界处陡峭明 显, 最终达到最优路径点

4.2 仿真实例

平面中障碍物有两个,物体表示为质点,初始点 和目标点如图 5 所示,初始路径为初始点和目标点 之间的直线 碰撞罚函数形状仿真结果如图 6,最终 无碰撞路径如图 5 所示



图 5 无碰撞路径规划 Fig 5 Collision free trajectory planning



图 6 碰撞罚函数形状图 Fig. 6 Collision penalty function 3D shape

5 结论(Conclusion)

本文对ANN 在机器人运动学及无碰撞轨迹规 划中进行了研究,对无碰撞轨迹规划提出了碰撞函 数的概念,给出了无碰撞轨迹规划NN 算法,并进行 了计算机仿真 理论分析与仿真结果表明,本文提出 的基于神经网络的机器人无碰撞路径规划是可行 的,从而为神经网络真正用于机器人控制提供了基 础

参考文献 (References)

- 金耀初,蒋静坪. 神经网络在机器人控制中的应用. 机器人, 1992, 14(6)
- 2 Behera L, Chaudhury S, Gopal M. Application of self- organizing neural networks in robot tracking control IEE Proceedings: Control Theory and Applications v 145 n 2 M ar 1998 IEE Stevenage Engl, 135- 140
- 3 13 Simon, Dan Application of neural networks to optimal robot trajectory planning Robotics and Autonomous Systems, 1993, 11 (1): 23- 34
- 4 15 Simon, Dan Neural network-based robot trajectory generation IEEE International Conference on Neural Networks Mar 28
 Apr 1 1993: 540- 545
- 5 18M acukow M. Robot control with neural networks A I and Information Control Systems of Robots, Plander North-Holland, 1989

(作者简介见上一篇文章)

成横梁另一端内环缝的焊接 工件进入第二工位后, 先点焊支架,然后焊接两条外环缝 在外环缝焊接过 程中,机械手回转 360 完成外环缝的焊接 根据上述 轨迹规划位置图,确定图 5 所示的焊接路径规划图

4.1 路径描述

焊接机器人为完成焊接任务, 焊枪须按以下路 径移动:

abcdefghh'h ijkk'k l mnopqrstub



图 2 NECO 横梁总成 Fig. 2 VIECO crossbeam

4 2 轨迹规划仿真结果

2



图 3 NECO 车架横梁焊接位置图

Fig. 3 The welding trace of NECO automobile crossbeam



图 4 Ⅳ ECO 车架横梁焊接路径规划图



图 5 直角坐标下的焊枪轨迹图

Fig. 5 trace of welding header on cartesian coordinate

参考文献 (References)

- Ishihara, Koichi Now and future of laser welding robots application in automotive industry. Robot n 114 Jan 1997 Tokyo Japan p 42-48
- 2 Yamaoka, Naoji Oda, Kouji On-line car-body measuring system using modified car-body welding robot Robot n 114 Jan 1997 Tokyo Japan p 77- 81
- 3 Harwig, Dennis D. Weld parameter development for robot welding Technical Paper-Society of M anufacturing, RP Proceedings of the 1996 M anufacturing Conference Sep 4- 11 1996, P96- 291 1996 Dearborn M IU SA

作者简介:

刘成良(1964-), 男, 上海交通大学机器人研究所副教授, 博士研究领域:机器人, 机电控制理论及方法, CAD, 网络控制等的研究 发表论文40余篇, 获省 部级科技进步二等奖2项, 三等奖3项.