

基于神经网络的移动机器人路径规划算法的仿真

陈华志 谢存禧 曾德怀

(华南理工大学 机械工程学院, 广东 广州 510640)

摘要: 研究一种基于神经网络的移动机器人路径规划算法, 充分利用神经网络的融合性和并行性提高移动机器人路径规划算法的运算速度. 此算法也可以解决机器人的全局路径规划和局部路径规划问题. 仿真结果表明这种算法可以快速可行地实现无碰撞优化路径规划, 并且对动态环境具有较好的适应性.

关键词: 移动机器人; 路径规划; 神经网络

中图分类号: TP 24

文献标识码: A

路径规划是移动机器人导航技术中不可缺少的重要组成部分, 它要求机器人根据给予的指令及环境信息自主地决定路径, 避开障碍物, 实现任务目标. 自主路径规划是移动机器人完成任务的安全保障, 同时也是移动机器人智能化程度的重要标志. 一般而言, 机器人完成给定任务可选择的路径有许多条, 实际应用中往往选择一条在一定准则下为最优(或近似最优)的路径, 常用的准则有: 路径最短、消耗能量最少或使用时间最短等. 因此, 机器人路径规划实质上是一个有约束的优化问题.

神经网络作为一个高度并行的分布式系统, 为解决机器人系统实时性要求很高的问题提供了可能性, 并应用于智能自主移动机器人导航与路径规划等方面^[1-4]. 在本研究中, 解决路径规划问题的思路是: 利用神经网络来描述环境约束并计算碰撞能量函数. 将迭代路径点集的碰撞能量函数与距离函数的和作为优化目标函数, 通过求优化目标函数的极值, 确定点集的运动方程, 最终使迭代路径点集趋向于最优规划路径.

本文采用碰撞罚函数的方法, 用神经网络描述存在障碍物的环境, 通过计算机仿真的方法分析碰撞罚函数对路径规划影响的因素, 最后通过寻优得出无碰撞路径.

收稿日期: 2003-03-01

作者简介: 陈华志 (1976 -), 女, 博士研究生, 主要从事移动机器人导航技术的研究.

1 基于神经网络的路径规划算法

1.1 单个障碍物的神经网络表示

在移动机器人的工作环境中, 障碍物用凸多面体(例如长方体)逼近, 一个非凸的多面体可以用几个凸多面体的组合来表示.

图1给出了一个代表障碍物的长方体和它的6个不等式的约束条件. 由图1可知, 通过判断一个点的坐标是否同时满足6个不等式的要求即可知道该点是否位于障碍物内部, 空间点 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ 与障碍物长方体的位置可用图2所示的神经网络模型来表示.

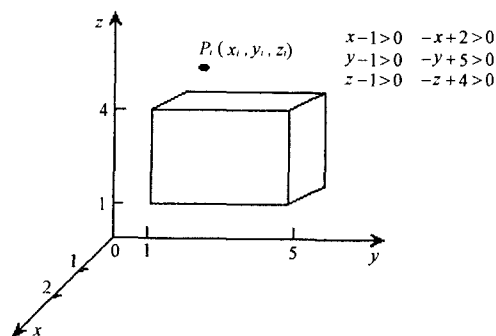


图1 单个障碍物模型

Fig. 1 Model of single obstacle

输入层的3个节点分别表示给定路径点 P_i 的坐标 x_i, y_i, z_i , 顶层节点的输出为障碍物的碰撞罚函数(碰撞罚函数是对路径点与障碍物碰撞程度的量化), 中间层节点的阈值为不等式中的常数项, 中间层到顶层的连接权系数均为1, 输入层到中间层的

连接权系数为不等式中变量 x, y, z 的系数, 顶层节点的阈值取为不等式的个数减去 0.5 后的负数.

神经网络的运算关系为:

$$C = f(T_1) \quad (1)$$

$$T_1 = \sum_{m=1}^G O_{Mm} + \theta_0 \quad (2)$$

$$O_{Mm} = f(I_{Mm}) \quad (3)$$

$$I_{Mm} = \omega_{xm}x_i + \omega_{ym}y_i + \omega_{zm}z_i + \theta_{Mm} \quad (4)$$

式中, C 为顶层节点输出; T_1 为顶层节点输入; θ_0 为顶层节点阈值; O_{Mm} 为中间层第 m 个节点的输出; I_{Mm} 为中间层第 m 个节点的输入; θ_{Mm} 为中间层第 m 个节点的阈值; $\omega_{xm}, \omega_{ym}, \omega_{zm}$ 为第 m 个不等式限制条件的系数; G 为中间层节点数; 选择 S 型函数 $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x/T}}$ 为激发函数, 参数 T 影响罚函数的形状.

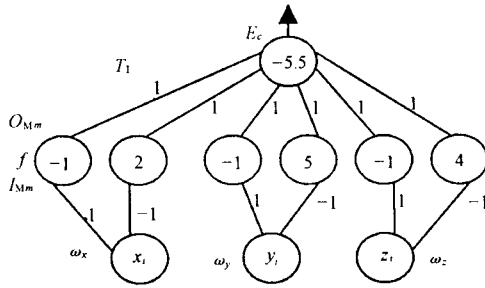


图2 单个障碍物的神经网络模型

Fig. 2 Neural network model of single obstacle

1.2 多障碍物神经网络的表示

移动机器人的工作环境往往有多个障碍物, 而且一条路径也由多个路径点组成, 所以把一个路径点的碰撞罚函数定义为它对各个障碍物碰撞罚函数之和, 同时把一条路径的碰撞罚函数定义为路径上所有中间路径点的碰撞罚函数之和. 图 3 是表达多个障碍物环境的神经网络模型, 图中每一层表示一个中间路径点.

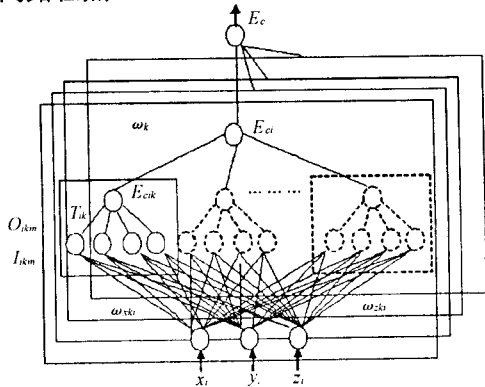


图3 多个障碍物的神经网络模型

Fig. 3 Neural network model of multi-obstacle

1.3 路径规划

路径规划要解决两个问题: 一是避免与障碍物碰撞; 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为:

$$E_c = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K E_{cik} \quad (5)$$

式中, K 为障碍物的个数; E_{cik} 为第 i 个路径点 P_i 对第 k 个障碍物的碰撞罚函数; N 为路径点个数.

为了使规划路径长度最短, 定义与路径长度相关的目标函数 E_l 为所有各小段路径长度的平方和:

$$E_l = \sum_{i=1}^{N-1} L_i^2 = \sum_{i=1}^{N-1} [(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2] \quad (6)$$

式中, L_i 为第 i 段路径的长度; l 为整个路径的长度.

整个路径总能量:

$$E = \omega_l E_l + \omega_c E_c \quad (7)$$

其中: ω_l, ω_c 表示对每一部分的加权系数.

上述分析可知, 路径越短, 能量函数 E 越小, 碰撞罚函数值越小; 路径越远离障碍物中心, 能量函数 E 越小. 以能量函数 E 为目标函数进行优化, 使整个能量 E 最小意味着该路径的长度较短, 与障碍物相碰撞的可能性越少.

若使 E 对时间求导数

$$E' = \sum_i (\nabla_{p_i} E)^T p'_i = -\frac{1}{\eta} \sum_i (x_i'^2 + y_i'^2 + z_i'^2) < 0 \quad (8)$$

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, 可得路径上的任意一点的动态运动方程为^[5]:

$$x'_i = -\eta [2\omega_l(2x_i - x_{i-1} - x_{i+1}) + \omega_c \sum_k f'[(T_l)_i^k] f'[(I_{Mm})_i^k \omega_{xm}^k] \quad (9)$$

$$y'_i = -\eta [2\omega_l(2y_i - y_{i-1} - y_{i+1}) + \omega_c \sum_k f'[(T_l)_i^k] f'[(I_{Mm})_i^k \omega_{ym}^k] \quad (10)$$

$$z'_i = -\eta [2\omega_l(2z_i - z_{i-1} - z_{i+1}) + \omega_c \sum_k f'[(T_l)_i^k] f'[(I_{Mm})_i^k \omega_{zm}^k] \quad (11)$$

其中, η 取为正数, $f(\cdot) = \frac{1}{T} f(\cdot) [1 - f(\cdot)]$.

2 路径规划仿真分析

假定机器人的工作空间如图 4(阴影部分代表 5

个障碍物). 为更好地表现规划路径, 我们把机器人视为一个质点, 障碍物按比例膨胀. 具体实现方法为: 初始路径为初始点和目标点之间的线段, 根据要求取一定数量的点均分该线段, 并计算每点的坐标, 这些点将作为迭代的起始点. 按公式(9), (10) 计算 P_i 点在 x, y 方向的导数进行迭代计算.

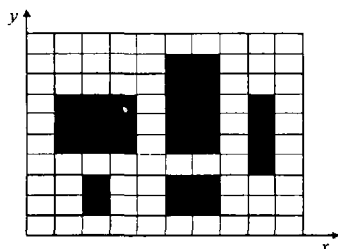
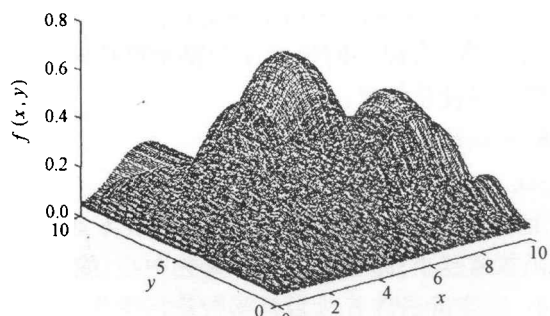
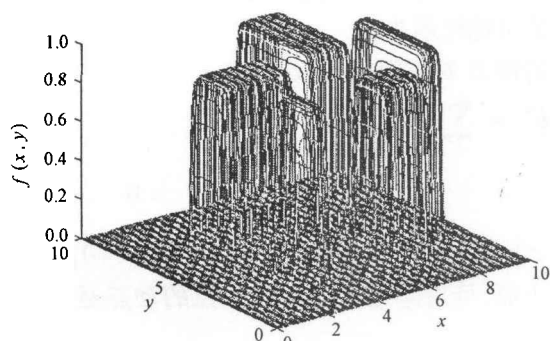


图4 移动机器人的工作环境模型

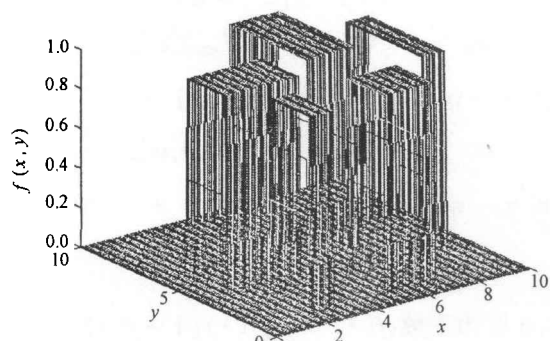
Fig. 4 Workspace model for mobile robot



(a) $T=0.5$



(b) $T=0.1$



(c) $T=0.005$

图5 碰撞罚函数的仿真结果

Fig. 5 Simulation results of collision penalty function

激发函数 f 的参数 T 影响罚函数的形状, 如图5所示. T 较大时罚函数比较平缓, 只能粗略反映障碍物的形状, 在障碍物的边缘处有一定坡度, 驱使路径点向低凹方向运动, 其中障碍物中心点处的罚函数值为最大, 如图5(a)所示. 随着 T 变小时, 罚函数逐渐陡峭, 如图5(b)所示. 当 T 很小时, 罚函数在障碍物的边缘处类似阶跃函数, 障碍物内部的输出为1, 外部输出为0, 使得路径点很难沿着表面运动, 因此无障碍区的能量函数主要取决于距离函数, 此时无障碍区的路径近似为直线, 如图5(c)所示. 因此, 在采用最小能量法寻找路径时, 合理地选择 T 的值是寻优的关键.

在PC机上通过MATLAB仿真实验^[6]得知, 随着参数 T 值的减小, 罚函数波动变小, 路径点难以移出障碍物, 同时运算的速度也大大减慢. 综合考虑整个路径的总能量最小, 兼顾路径长度较短, 碰撞可能性较小, 我们确定 $T=0.1$ 时能得到较优化的无碰撞路径, 如图6所示.

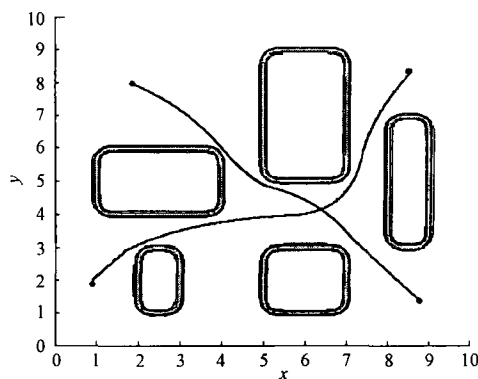


图6 无碰撞路径规划

Fig. 6 Collision-free path planning

3 结 论

本文以路径最短且能避开障碍物碰撞为目标, 研究了一种基于神经网络的移动机器人路径规划算法, 分析了碰撞罚函数对路径规划影响的因素, 通过计算机仿真的方法进行了验证, 并通过寻优得出无碰撞路径. 仿真结果表明基于神经网络的移动机器人无碰撞路径规划是可行的.

参考文献:

- [1] Dan S. Application of neural networks to optimal robot trajectory planning [J]. Robotics and Autonomous Systems, 1993, 11(1): 23-34.
- [2] Zhu D, Latombe J C. New heuristic algorithms for effi-

- cient hierarchical path planning [J]. IEEE Trans. On Robotics and Automation, 1991, 7 (1): 9-18.
- [3] Chang C C, Song Kai-Tai. Environment prediction for a mobile robot in a dynamic environment [J]. IEEE Trans On Robotics and Automation, 1997, 13(6): 862-872.
- [4] 王爱民, 史庆国, 吕晨亮. 机器人路径规划神经网络算法及优化 [J]. 河北工业大学学报, 1999, 28(6): 13-16.
- [5] 孙增圻. 智能控制理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [6] 闻新, 周露, 王丹力, 等. MATLAB 神经网络应用设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.

Simulation of a Neural Network-based Path Planning Algorithm for Mobile Robot

Chen Hua-zhi Xie Cun-xi Zeng De-huai

(College of Mechanical Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou 510640, China)

Abstract: A path planning algorithm based on neural network for mobile robots is introduced. It makes full use of the data fusion and parallel process of the neural network to improve the calculation speed of the algorithm. The algorithm also solves the problems of global path planning and local path planning for mobile robots. Simulation results show that the algorithm ensures quick and viable optimization of the non-collision path and adapts to the dynamic environment well.

Key word: mobile robot; path planning; neural network

“嵌入式操作系统研究与开发”项目通过验收

2003年5月20日,广东省科技厅组织专家组对华南理工大学计算机学院刘发贵教授主持完成的广东省重大科技专项项目“嵌入式操作系统研究与开发”进行了验收。

该项目研制了嵌入式操作系统 GDIX, 并与应用单位联合开发出 GDIX 车载高清系统、GDIX 网络终端计算机、高清机顶盒、嵌入式实时网络多媒体系统等应用的原型系统。GDIX 具有以下特点: 操作系统内核是以嵌入式 Linux 为蓝本, 针对信息家电进行改造和移植; 网络系统实现标准的 TCP/IP 协议簇, 保证与标准网络系统的互连、互通; 图形系统采用 Framebuffer、Microwindows、Fltk 技术, 保证用户的应用程序可以方便、快捷地在嵌入式系统上运行; 调试和开发环境采用 GNU 的编译器、链接器、调试器等, 紧跟国际先进技术, 保持与国际接轨。实现支持信息家电的中间件软件, 提供声音和视频的解码。GDIX 主要创新点在于操作系统的实用性和稳定性强, 可支持多种微处理器, 具有良好的可移植性; 程序系统结构设计具有很好的可裁剪性; 支持多任务和中文 GB2312 编码, 为用户编写嵌入式应用程序提供了方便; 与国内外嵌入式操作系统比较, 图形子系统可移植性强, 用户编程接口不仅支持 X-Window, 而且支持 Win32, 同时在支持交互电视的中间件技术上具有优势。

专家组听取了技术报告, 审查了有关项目资料, 并观看了嵌入式操作系统 GDIX 的现场演示, 一致认为: 该项目完成了合同任务书规定的任务, 研制的面向信息家电的嵌入式操作系统 GDIX 安全性好、性价比高, 适用于信息家电、网络计算机等方面的应用, 拥有自主知识产权, 达到国内先进水平, 其应用技术处于国内领先水平, 同意通过验收。