

基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划与避碰

高翔, 苏青

(南京邮电大学自动化学院, 江苏南京 210046)

摘要:针对无通信情况下的多机器人系统在未知动态环境下的路径规划问题, 设计了基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划与动态避碰系统。方向模糊控制器充分考虑了障碍物的距离信息和目标的角度信息, 转化为机器人与障碍物的碰撞可能性, 从而输出转向角度实现机器人的动态避障; 速度模糊控制器将障碍物的距离信息作为输入, 将速度因子作为输出, 提高了多机器人路径规划与动态避碰系统的效率和鲁棒性。在 Pioneer3-DX 机器人实体上验证了该系统的可行性。

关键词:多机器人系统; 路径规划; 方向模糊控制; 速度模糊控制

中图分类号:R318; TP212.3; TN915.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-629X(2014)11-0079-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.020

Multi-robot Path Planning and Collision Avoidance Based on Double Fuzzy Logic

GAO Xiang, SU Qing

(College of Automation, Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210046, China)

Abstract: A multi-robot path planning and dynamic collision avoidance system based on dual-layer fuzzy controller is proposed for path planning of non-communication multi-robot system in an unknown dynamic environment. Direction fuzzy controller has fully considered the obstacle distance and target angle information into the possibility of a collision of a robot and an obstacle, outputting the steering angle to realize the dynamic obstacle avoidance for robot. Speed fuzzy controller taking obstacle distance information as an input, the speed factor as output, improve the efficiency and robustness of multi-robot path planning and collision avoidance system. The effectiveness of the method is verified in the Pioneer3-DX robot entity environment.

Key words: multi-robot system; path planning; direction fuzzy control; speed fuzzy control

0 引言

随着机器人技术的发展, 单个机器人的能力、鲁棒性、可靠性、效率都有很大的提升, 但是面对一些复杂的、需要高效率的、并行完成的任务时, 单个机器人则难以胜任。为了解决这类问题, 机器人研究一方面进一步开发智能更高、能力更强、柔性更好的机器人, 另一方面需要在多机器人研究领域进行更多的、更全面的探索^[1]。其中, 多机器人的路径规划和动态避碰方面的研究更是多机器人研究领域尤其重要与棘手的, 如何在实现单个机器人完成路径规划任务的基础上, 实现多机器人之间的动态避碰是多机器人导航最重要

的任务之一, 也是多机器人研究的基础性问题之一^[2]。

文中研究的是基于模糊逻辑来实现多机器人的路径规划与动态避碰, 模糊逻辑是根据实时传感器的信息, 其方式是参考人类的驾驶经验设计规则表, 首先设计出计划碰到的情况, 列出可能遇到的情况和相应需要的动作表图, 在实际情况下, 机器人就会通过结合遇到的情况查表来产生相应的动作, 从而实现机器人的路径规划任务^[3-4]。在此基础上, 对于多机器人的路径规划, 在上述规则表上需要进一步完善和添加, 实现机器人之间的相互动态避碰, 以此达到多机器人路径规划和动态避碰的效果^[5]。

收稿日期: 2013-12-30

修回日期: 2014-04-03

网络出版时间: 2014-09-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61104216); 江苏省自然科学基金(BK2012832); 江苏省高校自然科学基金(12KJB510015); 南京邮电大学人才引进基金(NY211020, NY211067)

作者简介:高翔(1967-), 女, 江苏宿迁人, 博士, 教授, 研究方向为机器人传感与网络化控制技术、无线传感器网络及其应用; 苏青(1989-), 男, 江苏兴化人, 硕士研究生, 研究方向为无线传感器网络。

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.1009.043.html

1 移动机器人模型

要实现机器人的路径规划,首先要建立机器人的运动学模型。本实验采用的轮式机器人是 MobileRobots 的 Pioneer3-DX 机器人。相比于履带式机器人,轮式机器人通过转向轮的角度进行转向,而不是如履带式机器人改变驱动轮的速度实现转向那么复杂。并且,Pioneer3-DX 重量仅有 9 kg,小巧的外形使其可以在狭小复杂的环境中行驶自如,如教室、实验室、小办公室等。

Pioneer3-DX 机器人基于车轮的运动进行推算定位,从而跟踪机器人的位置和方向,机器人坐标与方位角的确立与其初始位置和初始方向角有关,起始状态下,机器人位于原点(0,0,0),其指向与 X 轴的夹角为 0 度。绝对角度在 0 到±4 096 弧度之间变化^[6]。

机器人具有安装有若干个激光传感器或声呐传感器的视觉系统,其传感器工作原理就是利用激光或者声呐对前方 180 度的范围进行扫描,如果在这个范围内遇到障碍物,那么激光传感器就可以读出障碍物的距离信息,机器人就可以利用这个距离信息对整个环境进行分析。本实验就是利用这个距离信息进行分析然后避障的。另外还有,机器人可以读出当前位置的坐标和当前方向角,本实验就是利用机器人这个功能计算当前方向与目标方向的差值的,依此来实现目标导向的约束。

文中通过建立以机器人为系统的模糊控制器,确立模糊控制器的输入变量和输出变量,用相关语言描述出模糊控制器的输入变量和输出变量,根据模糊控制理论确立定性推理原则,根据迷糊控制器的输入信号和输出信号,建立类似于 IF(A1 is A) THEN(B) 的模糊控制规则,选取各输入语言变量和输出语言变量的隶属度函数,最后,进行解模糊化,按照隶属度函数最大原则进行表决,对机器人进行相应的动作,完成单个机器人路径规划的任务。在上述基础上,将其他机器人看作是动态障碍物的话,即可实现多机器人的动态避碰^[7]。

2 双层模糊控制器的设计

2.1 确定输入输出变量

将机器人视觉系统能够扫描前方 180 度的范围平均分为三部分,即正前方障碍物信息(F)、左前方障碍物信息(L)和右前方障碍物信息(R),在这三部分每个又分为三个小部分,每个小部分为 20 度范围,分别为 LL、FL、RL、LF、FF、RF、LR、FR 和 RR。如图 1 所示,机器人的传感器可以分别测出以上 9 个部分的障碍物的信息,这里主要是障碍物的距离,作为模糊控制器的输入变量。

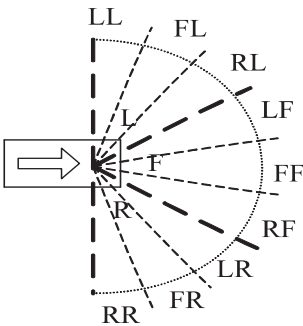


图 1 机器人视觉系统示意图

输入变量还包括目标方向信息,即机器人与目标点的相对角度 θ 。可以知道目标点的坐标(X,Y),还可以知道机器人在当前状态下的方向角 ω 和当前坐标(x,y),然后机器人与目标点的相对角度 $\theta = \arctan \frac{Y - y}{X - x} - \omega$,作为模糊控制器的输入变量。接着确定输出变量,即机器人的转向角度 φ ,表示下一步机器人即将需要转的角度。

2.2 语言描述

将模糊控制器分为两类,一类是障碍物信息,另一类为目标信息。障碍物信息包含 LL、FL、RL、LF、FF、RF、LR、FR 和 RR 九个变量,这九个模糊变量的模糊集合可取为小距离(S)、中距离(M)、大距离(L)。目标信息主要是目标与机器人之间的相对夹角 θ ,模糊集合可取为正大(PL)、正小(PS)、零(Z)、负小(NS)和负大(NL)。

输出变量由若干行为组成,各个行为 i(因为文中有四个输入变量,所以 i=1,2,3,4)对应着这个行为的接受程度 j(因为文中的输出转向角有五个模糊子集,所以 j=1,2,3,4,5;输出速度有三个模糊子集,所以 j=1,2,3),这里用 α_{ij} 表示, α_{ij} 越大,说明可以允许或者接受的程度越高,它的模糊子集文中取为三级,一级表示不允许,二级表示中立,三级表示允许。转向角的模糊子集取为五个部分:大右转(RLT)、右转(RT)、不转(NT)、左转(LT)和大左转(LLT)。速度的模糊子集取为三个部分:一级速度(ONE)、二级速度(TWO)、三级速度(THR)。

模糊输入变量如表 1 所示。

表 1 模糊输入变量

距离信息	目标信息	输出转向角	输出速度
S;小距离	PL;正大	RLT;大右转	ONE;一级速度
M;中距离	PS;正小	RT;右转	TWO;二级速度
L;大距离	Z;零	NT;不转	THR;三级速度
	NS;负小	LT;左转	
	NL;负大	LLT;大左转	

2.3 确定模糊规则

根据模糊控制理论确立定性推理原则,根据模糊控制器的输入信号和输出信号,建立类似于 IF(A1 is A) THEN(B) 的模糊控制规则。确定前方避障的规则,由于正前方有三个距离变量:LF,RF,FF,而距离变量有三个模糊子集:小距离(S)、中距离(M)、大距离(L),这里令 $i=1, j=1, 2, 3, 4, 5, \alpha_{ij}=1, 2, 3$, 可以列出 $3^3=27$ 条规则,这里举其中一例:(IF LF=L, FF=M, RF=S) THEN($\alpha_{11}=3, \alpha_{12}=2, \alpha_{13}=1, \alpha_{14}=1, \alpha_{15}=1$)。同理确定左边沿和右边沿的规则,同样可以各列出 27 条规则。

确定目标导向的规则,由于机器人与目标点的相对角度 θ 有五个模糊子集:正大(PL)、正小(PS)、零(Z)、负小(NS)和负大(NL),这里令 $i=4, j=1, 2, 3, 4, 5, \alpha_{ij}=1, 2, 3$, 可以列出五条规则。

确定速度选择的规则,由于速度的选择是根据前方障碍物的距离信息为依据的,而距离变量有三个模糊子集:小距离(S)、中距离(M)、大距离(L),这里令 $i=1, j=1, 2, 3, \alpha_{ij}=1, 2, 3$, 可列出 $3^3=27$ 条规则。

2.4 确立隶属度函数

选取各输入语言变量和输出语言变量的隶属度函数,即确定输入变量和输出变量的关系,只要知道输入变量就可求出输出变量。根据上述过程的程度确定输入变量和输出变量的隶属度函数,将相应的变量设为隶属度的论域,则相应的隶属度越大,说明程度越高;隶属度越小,说明程度越低^[8]。首先可以确定障碍物信息物理量的隶属度函数,然后确定目标与机器人方位角的隶属度函数,接着确定控制命令重要度 α_{ij} 的隶属度函数,最后确定转向角的隶属度函数。

2.5 解模糊化

由上述过程求得的各个模糊变量,进行解模糊化,解模糊化又叫清晰化,作用是将模糊推理得到的控制量(模糊量)转化成实际用于控制的清晰量。文中按照隶属度函数最大原则进行表决,对机器人进行相应的动作,即可完成单个机器人路径规划的任务^[9-12]。根据中心数法进行解模糊化:按照隶属度函数最大原则进行表决,得到各个清晰量。将上一步得到的量进行尺度转换,转化成机器人实际可以用来动作的控制量^[13],文中用来动作的控制量就是转向角,即机器人即将需要调整的角度,以此用于完成单个机器人路径规划的任务。在此基础上,将机器人看成是动态障碍物,只要模糊规则选取的合理,即可实现多机器人路径规划与动态避碰的任务。

3 实验结果

为了验证基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划

与动态避碰系统用于多机器人系统的可行性和高效性,首先在 MobileSim 仿真平台上对机器人进行仿真实验。在 Mapper 软件上绘制地图,设置 home(0 mm, 0 mm), goal(8 000 mm, 0 mm), 机器人从 home 点到达 goal 点需要经过若干个障碍物,分别通过基于单层模糊逻辑的机器人路径规划仿真实验和基于双层模糊逻辑的机器人路径规划仿真实验,机器人都最终避开障碍物达到了目标点,采样时间均为 2 s。机器人实体运行轨迹图如图 2 所示。

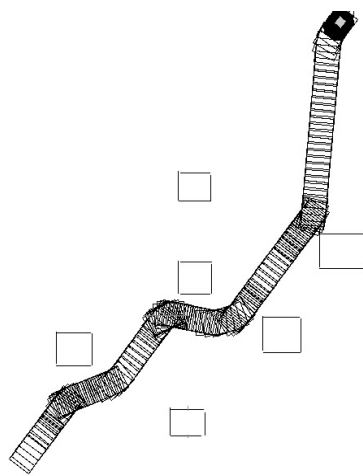


图 2 基于双层模糊逻辑的机器人路径规划的轨迹

从图 2 可以看出,图 2 的轨迹有密集的地方,也有稀疏的地方。由此可以看出,机器人在轨迹密集的地方运行速度较在轨迹稀疏的地方快,这说明了相对于基于单层模糊逻辑的机器人路径规划方法而言,基于双层模糊逻辑的机器人路径规划方法效率更高。从图 3 可以进一步看出,基于双层模糊逻辑的机器人路径规划方法从 home 点到 goal 点只用了 40 s,运行路径更优,更加说明了基于双层模糊逻辑的机器人路径规划方法具有很高的实用性。

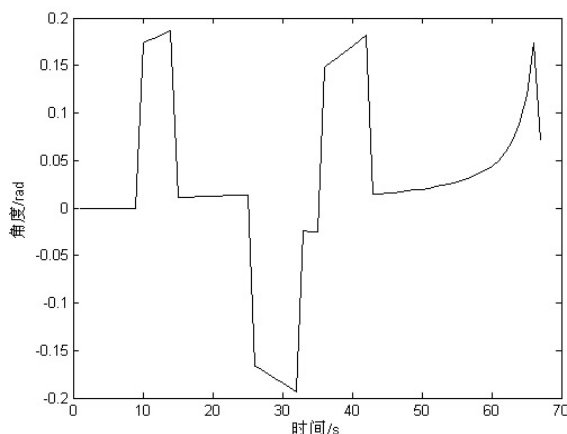


图 3 基于双层模糊逻辑的机器人路径规划参数

为了验证基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划与动态避碰系统用于多机器人系统的可行性和高效性,对实验室两个机器人做了相关的对比实验。两个

机器人均采用实验室的 Pioneer3-DX 机器人实体系统, Pioneer3-DX 装有激光传感器, 可以测出选定角度范围内的距离信息。两个机器人相向运动, 初始位置与目标位置(相对于机器人 1)分别为 home1(0 mm, 0 mm), goal1(0 mm, 6 000 mm), home2(0 mm, 6 000 mm)和 goal2(0 mm, 0 mm), 采样时间均为 2 s。本实验将基于模糊逻辑的多机器人路径规划(无速度控制器)与基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划作对比, 机器人与目标的距离和角度以及速度如图 4 与图 5 所示。

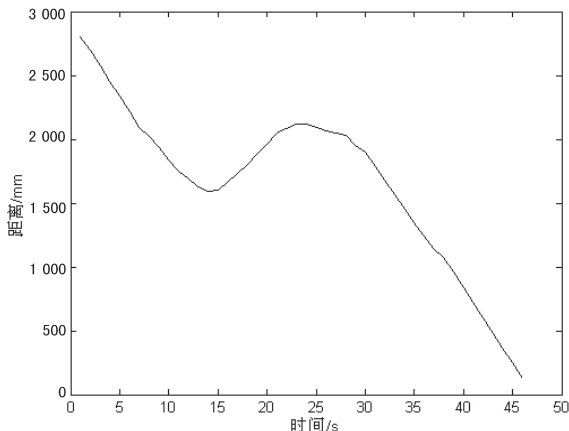


图 4 机器人 1 距离变化曲线图

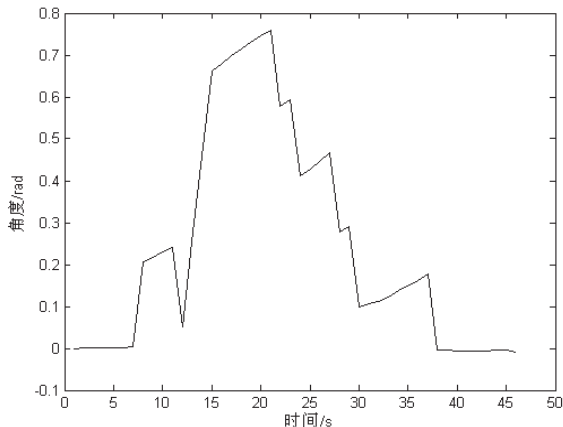


图 5 机器人 1 角度变化曲线图

从图中可以看出, 多机器人可以利用基于模糊逻辑的路径规划方法实现路径规划, 并且, 从基于模糊逻辑的多机器人路径规划(无速度控制器)与基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划的对比情况来看, 基于双层模糊逻辑的效率比基于模糊逻辑的多机器人路径规划(无速度控制器)大大增加, 同样的距离, 实现时间几乎提高了一倍, 机器人与目标之间的距离信息和

角度信息都有了较大的优化。

4 结束语

文中提出一种基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划与动态避碰的方法, 通过设计一种双层模糊控制器(方向模糊控制器与速度模糊控制器), 将与障碍物的距离信息作为输入, 输出转向角度与速度因子, 从而实现多机器人的路径规划。实验结果表明, 文中的方法有效提高了机器人路径规划的实用性与效率。


参考文献:

- [1] 李 静. 多移动机器人路径规划避碰和协调研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [2] Mehrjerdi H. Control and coordination for a group of mobile robots in unknown environments[D]. Canada: University of Quebec, 2010.
- [3] Gu Dongbing, Yang Erfu. Fuzzy policy reinforcement learning in cooperative multi-robot systems[J]. Journal of Intelligent Robot Systems, 2007, 48(1): 7-22.
- [4] Stoian V, Ivanescu M, Stoian E, et al. Using artificial potential field methods and fuzzy logic for mobile robot control[C]//Proc of 12th international power electronics and motion control conference. Portoroz; IEEE, 2006; 385-389.
- [5] Kinugawa K, Noborio H. A convergence proof of a fusion algorithm of global and local path-planning for multiple mobile robots[C]//Proceedings of IEEE international symposium on assembly and task planning. Fukuoka; IEEE, 2001; 268-275.
- [6] Mobilerobots A. Pioneer 3 operations manual[M]. [s. l.]; [s. n.], 2011.
- [7] Li Wei. Behavior based control of a mobile robot in unknown environments using fuzzy logic[J]. Control Theory and Applications, 1996, 13(2): 153-162.
- [8] 郝 博, 秦丽娟, 姜明洋. 基于改进遗传算法的移动机器人路径规划方法研究[J]. 计算机工程与科学, 2010, 32(7): 104-107.
- [9] 李北川, 祖丽楠, 杨 鹏. 基于模糊逻辑的机器人动态避障方法[J]. 机器人技术与应用, 2008(6): 32-34.
- [10] Lavalley S M. Planning algorithms[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [11] 骆德渊, 刘 荣, 李纪文. 采用模糊逻辑的移动机器人轨迹跟踪[J]. 电子科技大学学报, 2008, 37(6): 943-946.
- [12] 卓 睿, 陈宗海, 陈春林. 基于强化学习和模糊逻辑的移动机器人导航[J]. 计算机仿真, 2005, 22(8): 157-162.
- [13] 王玉华. 非完整移动机器人模糊导航及控制算法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2008.

基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划与避碰

作者：[高翔](#)，[苏青](#)，[GAO Xiang](#)，[SU Qing](#)

作者单位：[南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京, 210046](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(11)

引用本文格式：[高翔](#). [苏青](#). [GAO Xiang](#). [SU Qing](#) [基于双层模糊逻辑的多机器人路径规划与避碰](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(11)