

基于模糊算法的移动机器人路径规划

陈卫东, 朱奇光

(燕山大学信息学院, 河北秦皇岛 066004)

摘 要: 为了解决移动机器人最优路径规划问题, 提出一种基于模糊算法的移动机器人路径规划策略. 利用超声波传感器对环境进行探测, 得到关于障碍物和目标的信息. 运用模糊推理将障碍位置信息与目标位置信息模糊化, 建立模糊规则并解模糊最终使机器人可以很好的避障, 从而实现了移动机器人的路径规划. 仿真实验结果表明了模糊算法优于势场法和 A^* 算法, 具有较高的有效性和可行性.

关键词: 移动机器人; 模糊控制; 解模糊; 路径规划

中图分类号: TP24 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2011) 04-0971-04

Mobile Robot Path Planning Based on Fuzzy Algorithms

CHEN Wei-dong, ZHU Qi-guang

(Information Institute, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: To solve the optimal path planning problem of mobile robots, a novel mobile robot path planning strategy based on fuzzy algorithm has been proposed. The environment situation has been detected using ultrasonic sensors to obtain the information about obstacles and goals. Fuzzy the position informations about obstacles and goals through fuzzy reasoning and establish the fuzzy rules. By defuzzification could make the mobile robot avoid obstacles successfully and find the optimal path. The simulation experiment results have shown that the fuzzy algorithm mentioned above is superior to potential field method and the A^* algorithm with more effectiveness and feasibility.

Key words: mobile robot; fuzzy control; defuzzification; path planning

1 引言

当移动机器人通过各种传感器获得一定量的周围环境信息时, 如何利用这些有限的环境信息, 来实现机器人的实时控制, 一直是机器人研究者所关心的一个问题, 这也是移动机器人进行实时避障所必须解决的一个难题. 机器人的路径规划是智能机器人研究的一项关键技术, 其目标是避开障碍物, 按照路径规划评价标准寻找一条从起始状态到达目标状态的无碰路径. 目前常用的路径规划方法主要有人工势场法、 A^* 算法等. 其中, 人工势场法容易陷入局部极小点, 从而导致机器人不能到达目标位置^[1~3]. 而 A^* 算法不仅要考虑搜索节点的多少, 同时还要考虑搜索节点被搜索的次数, 搜索的复杂度, 计算量大^[4~6]. 近几年研究发现, 要建立起移动机器人避障过程精确的数学模型非常困难, 更多的目光投向了模糊逻辑控制算法^[7~9].

模糊逻辑控制算法将模糊控制本身所具有的鲁棒性与基于生理学的“感知—动作”行为结合起来, 为移动机器人在复杂环境中的避障导航提供了新的思路. 该方

法弥补了传统算法中存在的对环境信息依赖性强等不足, 对处理复杂环境下的机器人路径规划问题, 具有较高的优越性和较强的实时性.

本文根据人的驾驶经验得到一系列控制规则, 经推理得到控制响应, 再由此得到机器人路径规划信息, 实现移动机器人局部路径规划的有效控制, 并通过仿真验证了该方法的有效性和准确性.

2 超声波传感器对外部信息的采集

移动机器人要获得自主行为, 最主要的任务之一是获取关于环境的知识. 超声波传感器以其性价比高、硬件实现简单等优点, 在移动机器人感知系统中得到了广泛的应用. 但是单个超声波传感器存在不稳定性 (在非垂直的反射下), 因此往往采用多个超声波传感器来补偿. 超声波传感器的基本原理是不断检测超声波发射后遇到障碍物所发射的回波, 测出发射和接收回波占用的时间来计算距离. 其计算公式为:

$$D = CT/2 \quad (1)$$

其中, D 为障碍物距超声波传感器的距离; C 为声波的

传播速度, $C = 331.4 \sqrt{(1 + k/273)}$, k 为绝对温度. 由于超声波也是一种声波, 其声速 C 与温度有关, 实验中, 如果温度不大, 则可认为声速是基本不变的, 这样检测出超声波发送与接收的往返时间 T 就可以测量出距离.

3 模糊控制器的设计

3.1 确立输入量和输出量及其模糊语言描述

模糊控制器的输入是超声波传感器的距离信息、移动机器人当前的运动速度和目标的方向信息, 输出是移动机器人的左右轮加速度的信息. 移动机器人系统结构如图 1 所示. 移动机器人由两个独立的驱动轮、一个速度里程表、六个探测障碍物的超声波传感器(正前方、左方、右方各两个)和一个目标传感器组成. 前方每组的两个传感器的距离信号, 取其中较小的一个数据作为该组的输入, FD 前方距离; RD 右方距离; LD 左方距离, 这是最简单的数据融合方法. 行为和推理规则的输入

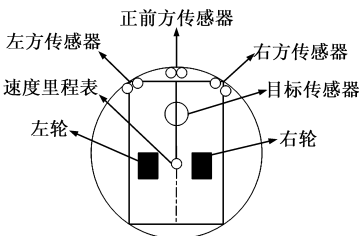


图1 移动机器人的示意图

变量设为五个, 分别为机器人此时目标方向夹角 θ 、运动速度 v 和移动机器人前进方向的左、前、右三面的障碍物距离. 而从这些条件推出模糊推理的输出为左右轮的加速度 a_l 和 a_r . 使用连续型论域, 采用简单的线性化处理方法, 将距离输入变量模糊语言变量定为 {NEAR, FAR}; 将当前运动速度 v 定为 {SLOW, FAST}; 将目标方位 θ 输入变量的论域划分为 {LEFT, FRONT, RIGHT}; 将移动机器人左右轮加速度论域划分为 {NB, NS, Z, PS, PB}.

3.2 确定输入输出量的隶属度函数

取各个语言变量的隶属度函数形状为对称的三角形且模糊分割是对称的. 规定当目标在机器人的右前方时 θ 为正值反之则为负. LD、FD 和 RD 的隶属度函数如

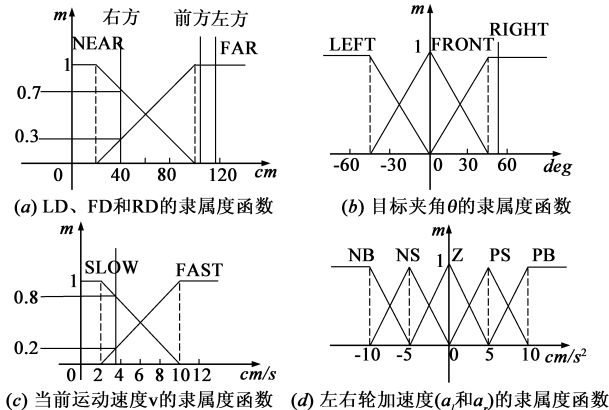


图2 隶属度函数示意图

图 2(a)所示; 目标与运动方向夹角 θ 的隶属度函数如图 2(b)所示; 当前运动速度 v 的隶属度函数如图 2(c)所示; 左右轮加速度 a_l 和 a_r 的隶属度函数如图 2(d).

3.3 建立模糊控制规则

模糊控制规则的建立是模糊控制的核心问题^[5]. 模糊控制系统是用一系列基于专家知识的语言来描述的, 用一系列模糊条件描述的模糊控制规则就构成了模糊控制规则库. 根据 FuzzySet 理论, 建立定性推理规则, 模糊规则反映了输入输出量之间的关系. 按照模糊逻辑进行推理的基本理论, 规定五个定性的输入信号, 两个定性的输出信号, 整个系统就构成了一个有五个输入、两个输出的多输入多输出模糊系统. 当同一区域内出现两个或两个以上障碍物信息时, 则只考虑最近的障碍物.

机器人路径是依据障碍物位置、目标位置的传感器信息和机器人当前运动速度来给出到达目标的策略. 当探测到障碍物接近机器人时, 机器人将改变运动轨迹, 以避免碰撞. 机器人转向的基本原则是: 当探测到机器人左(右)和前方出现障碍物时, 机器人应即时转向右(左)方向. 机器人转向的改变是靠左右轮速度的改变来控制的, 并且速度的改变还能有效控制机器人运动的时效性. 根据上面所确定的输入输出集, 模糊规则的一般形式可以 If(条件)then(结果)描述.

根据不同的机器人轨迹图和目标方位, 可以制定一系列的模糊规则. 这里仅以一种情况为例说明模糊规则建立的方法, 如图 3 所示. 超声波传感器探测到的机器人右方 0.4m 之内有障碍物且很接近时, 前方和左方的障碍物距离在前面的隶属度函数图中已经标出, 当前运动速度和目标角的隶属度函数也在上面的隶属度函数中标出, 则把规则编入表格如下:

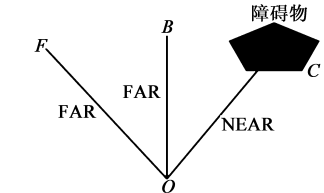


图3 障碍物在机器人的右前方很近

表 1 模糊规则

Rule No.	input					output	
	LD	FD	RD	θ	v	a_l	a_r
1	F	F	F	L	S	PS	PB
2	F	F	F	L	F	NS	Z
3	F	F	F	C	S	PB	PB
4	F	F	F	C	F	Z	Z
5	F	F	F	R	S	PB	PS
6	F	F	F	R	F	Z	NS
7	F	F	N	L	S	Z	PS
8	F	F	N	L	F	NS	Z
9	F	F	N	C	S	Z	PS
10	F	F	N	C	F	NS	Z
11	F	F	N	R	S	NS	Z
12	F	F	N	R	F	NB	NS

按照同样的方法,可以建立起多种条件下的控制规则.类似于这样的控制规则可归纳总结为很多条.在模糊控制规则的制定上采用基于控制器行为特性的方式,将动作分为若干基本行为,复杂的行为可由几个简单行为按次序构成,可简化模糊控制规则的确定,并可减少模糊控制规则的数目,避开被控对象的特性建模.

3.4 模糊推理

模糊推理是模糊控制器的核心,它具有模拟人的基于模糊概念的推理能力,该推理过程是基于模糊逻辑中的蕴含关系及推理规则来进行的.由模糊规则推理输出量的隶属度.根据 Mamdani 模糊推理方法求取模糊关系矩阵^[10].

为了说明模糊推理控制器的工作过程,这里以机器人在 $FD = 105\text{cm}$; $LD = 117\text{cm}$; $RD = 40\text{cm}$; $\theta = 45\text{deg}$; $v = 3.5\text{cm/s}$ 的状态为例来说明推理决策的过程.查询数据库中的规则,此状态下的模糊规则为表格中的第 5、6、11 和 12.由模糊规则的推理与合成(取极小,取极大)得到输出的隶属度如下:

第五个规则推理结果:

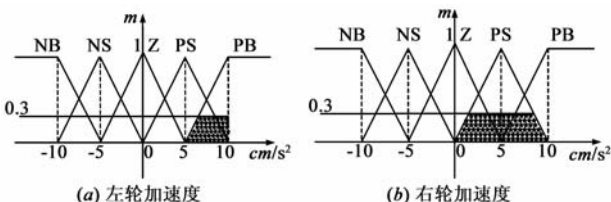


图4 规则5推理的左右轮合成隶属度函数

第六规则推理结果:

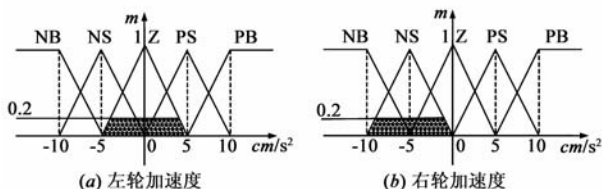


图5 规则6推理的左右轮合成隶属度函数

第十一规则推理结果:

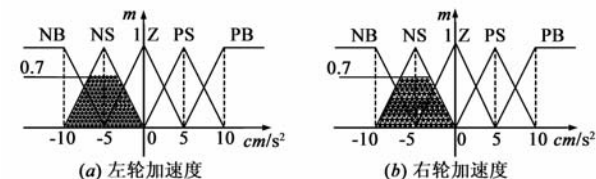


图6 规则11推理的左右轮合成隶属度函数

第十二规则推理结果:

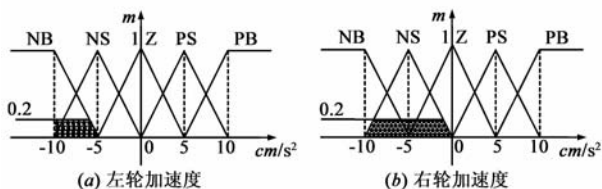


图7 规则12推理的左右轮合成隶属度函数

规则的合成隶属度结果:

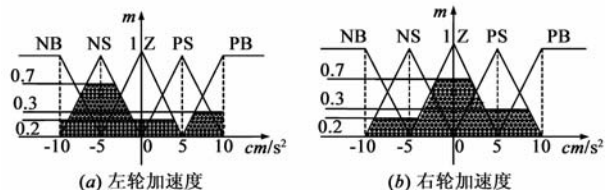


图8 左右轮合成隶属度函数

3.5 解模糊

通过模糊推理得到的结果是一个模糊集合.但在实际模糊控制中,必须要有一个确定值才能控制或驱动执行机构.将模糊推理结果转化为精确值的过程称为解模糊.所以,解模糊的作用是将模糊集合映射为一个确定的点.也就是把上面推理合成得到的左右轮加速度模糊集合转化为一个精确值来控制机器人的运动.解模糊方法的选择与隶属度函数形状的选择、推理方法的选择相关. MATLAB 提供 5 种解模糊方法:面积重心法、面积等分法、平均最大隶属度法、最大隶属度取小法和最大隶属度取大法^[11].本文仿真采用的重心法.这种方法也称为质心法或面积中心法,是所有解模糊化方法中最为合理、最流行和引人关注的方法.该方法的数学表达式是:

$$\text{左轮加速度} = \frac{\int a_l \mu_L(a_l) d(a_l)}{\int \mu_L(a_l) d(a_l)} \quad (2)$$

$$\text{右轮加速度} = \frac{\int a_r \mu_R(a_r) d(a_r)}{\int \mu_R(a_r) d(a_r)} \quad (3)$$

式中, \int 表示输出模糊子集所有元素的隶属度值在连续论域上的代数积分,而加速度的取值是表示其左右两边的面积为相等.该方法计算复杂,但它包含了输出模糊子集所有元素的信息,也较精确.采用重心法将模糊量转换成清晰量,再经过线性尺度变换为实际输入给直流电机的控制量控制移动机器人的移动.

4 仿真实验及结果分析

为了验证本文提出的模糊控制方法的可行性,在 Matlab 中利用 Simulink 建立系统仿真模型,对控制规则进行了仿真,假设移动机器人的行驶速度为 0.6m/s ,使用 Fuzzy Logic 工具箱软件对模糊算法进行了仿真.在仿真过程中,起点和终点的位置可以任意设置,障碍物的大小、形状和位置也可以任意设置,这样就可以在任意环境下检验算法的正确性和可靠性.

图 9 为当起点为 $(0,0)$,目标点为 $(9,9)$,在障碍物存在时模糊算法和势场法的路径规划仿真.由图我们可以看出,模糊算法比势场法规划的路径更优.其工作

代价更小,行走的路径也更短.由于速度的控制,比文献[12]中只对转向角进行控制节省大量时间.

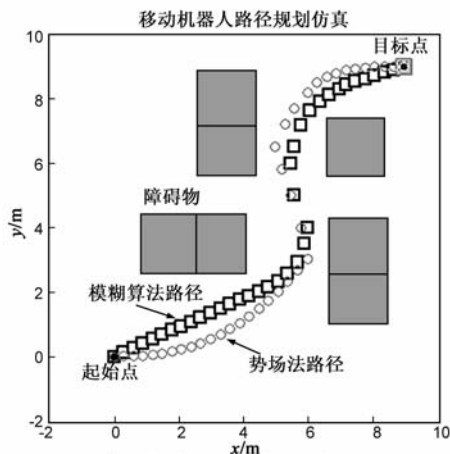


图9 模糊算法和势场法的仿真对比图

在相同的环境下用 A^* 算法和模糊算法也进行了仿真对比,仿真路径图如图 10.应用两种算法获得的最优路径如图所示.其中, A^* 算法计算量较大,并且 A^* 算法只能在环境信息已知的情况下找到路径而不适合部分环境信息已知的情况,而且很不适合动态环境的路径规划.模糊算法显然比 A^* 算法规划的路径更优,并且能够实现移动机器人的实时避障.

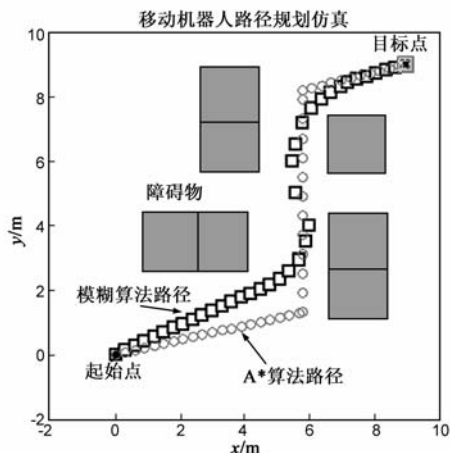


图10 模糊算法和 A^* 算法的仿真对比图

对比实验表明,模糊算法不但优于人工势场法,也优于 A^* 算法.模糊算法大大优化移动机器人的路径规划,是一种很智能的路径规划方法.模糊算法仿真成功证明使用模糊控制进行路径规划时对移动机器人的运行环境几乎没有什么限制,它能在未知环境里运行.对障碍物的形状及其个数也没有什么约束.从仿真实验中的移动轨迹可以看出,移动机器人的行为表现出比较好的一致性、连续性和稳定性.采用模糊控制算法避开了传统算法中存在的对移动机器人的定位精度敏感、对环境的信息依赖性强等缺点.

5 结论

移动机器人由于传感器的限制以及周围环境的不确定性,很难预先对机器人的移动路径进行规划.本文采用了的模糊控制算法对移动机器人进行控制.这种算法对移动机器人的运行环境几乎没有什么限制,它能在情况很复杂的未知环境里运行.对障碍物的形状及其个数也没有什么约束.并可避开传统算法中存在的对移动机器人的定位精度敏感,对环境信息依赖性强等缺点.并且通过对速度的控制使机器人比以前只对转角控制进行路径规划节省时间,具有很强的时效性.从实验中的移动轨迹可以看出,移动机器人的行为表现出很好的一致性、连续性和稳定性.

参考文献

- [1] 李磊,叶涛,谭民,等.移动机器人技术研究现状与未来[J].机器人,2002,24(5):475-480.
Li Lei, Ye Tao, Tan Ming. Present state and future development of mobile robot technology research [J]. Robot. 2002, 24(5): 475-480. (in Chinese)
- [2] S K Pradhan, D R Parhi, A K Panda. Potential field method to navigate several mobile robots [J]. Applied Intelligence, 2006 (25):321-333.
- [3] 郝宗波,洪炳熔.未知环境下基于传感器的移动机器人路径规划[J].电子学报,2006,34(5):953-956.
Hao Zong-bo, Hong Bing-rong. Sensor-based path planning for mobile robot in unknown environment [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(5): 953-956. (in Chinese)
- [4] 周兰凤,洪炳熔.用基于知识的遗传算法实现移动机器人路径规划[J].电子学报,2006,34(5):911-914.
Zhou Lan-feng; Hong Bing-rong. A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(5): 911-914. (in Chinese)
- [5] 高庆吉,雷亚莉,胡丹丹,等.基于自适应感知复位算法的移动机器人定位[J].电子学报,2007,35(11):2166-2171.
Gao Qing-ji, Lei Ya-li, Hu Dan-dan. A robot localization method based on adaptive sensor resetting algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(11): 2166-2171. (in Chinese)
- [6] T-L Lee, C-J Wu. Fuzzy motion planning of mobile robots in unknown environments [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2003, 37(2):177-191. (下转第 980 页)

作者简介

陈卫东 男,1972 年生于吉林长春,教授,主要研究方向为机器人控制,智能算法及其应用,图像处理等.

E-mail: wdchen@ysu.edu.cn

朱奇光 男,1978 年生于浙江宁波,讲师,博士研究生,主要研究方向为机器人控制,智能算法及其应用.

