

基于深海采矿车的避障规划模糊控制器的研究

戴圣伟^{1,2}, 王随平¹, 罗飞²

(1. 中南大学, 湖南 长沙 410083; 2. 湖南工业大学, 湖南 株洲 412008)

摘要: 非结构化环境的深海自主车辆绕障策略算法制约车辆行走作业性能。利用测障声纳获取了障碍物信息, 集中研究了面向非结构化环境绕障的模糊控制器结构、模糊控制算法。仿真结果表明: 自主设计的模糊控制器在算法的控制下可使采矿车按规划路径实现绕障行走, 控制效果显著。

关键词: 模糊决策; 测障声纳; 行走控制; 绕障路径

中图分类号: TE952

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2009)01-0079-04

Research on Fuzzy Controller of Avoiding Obstacle Program Based on Deep Sea Mining Vehicle

Dai Shengwei^{1,2}, Wang Suiping¹, Luo Fei²

(1. Central South University, Changsha 410083, China; 2. Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: The obstacle avoidance algorithm of seabed autonomous vehicle under unstructured environment can influence the functional ability of the vehicle. This research thoroughly studies the structure of fuzzy controller under unstructured environment and the algorithm by applying the information about the obstacles which is acquired by the obstacle detection sonar. The simulation result shows that the self-designed fuzzy controller can help the mining vehicle to avoid the obstacles on the planned paths under the control of algorithm and achieve significant control.

Key words: fuzzy decision; obstacle detection sonar; driving control; obstacle-avoiding path

深海采矿车避障规划的目的是当其行走在预定的路径上时, 在障碍环境中寻找一条安全的优化路径。目前, 国内外避障的主要算法有: 人工势场法、栅格法、自由空间法等。经研究, 人工势场法容易产生死锁现象^[1]; 栅格法存在着环境分辨率与环境信息存储量的矛盾^[2]; 自由空间法的复杂程度与障碍物的多少成正比, 且有时无法获得最短路径^[3]。本文中提出的模糊逻辑算法, 一方面将新的机制用于实现基于知识规则的控制规律; 另一方面, 为非线性控制器提出了一个比较容易的设计方法(尤其是受控对象或过程含有不确定性、而且很难用常规非线性控制理论处理时)。下面将在模糊控制理论上对采矿车的避障规划及控制器的结构与控制算法做深入的研究。

1 模糊控制器结构及控制算法研究

模糊控制器至少包含4个部分: 语言变量的模糊化环节、知识库(一组控制规则或推理渠道)、模糊推理和反模糊化环节。如图1所示。

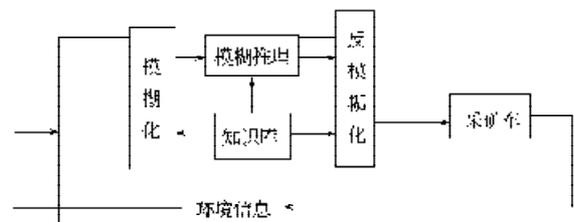


图1 采矿车模糊避障规划器结构

Fig. 1 The structure of fuzzy obstacle avoidance planner of the mining vehicle

收稿日期: 2008-10-06

作者简介: 戴圣伟(1978-), 男, 湖南邵阳人, 湖南工业大学讲师, 硕士研究生, 主要研究方向为深海采矿车的理论与实践,

E-mail: dai_sheng_wei@163.com

1.1 环境信息的处理

深海采矿车行走过程中周围环境包含3个方面的信息：障碍物的高度，障碍物的距离和障碍物的方位。障碍物的高度是采矿车是否要进行避障规划的决定因素，而障碍物的距离和方位则是决定采矿车怎么样避障的主要因素。对于采矿车避障决策的输出有两方面的信息，首先是采矿车的航向，再就是偏转角的大小^[4]。路径规划的方法具体体现为：若运动前方没有障碍物，则采矿车沿预定路径前进；若运动前方碰到障碍物，则实时地判断出需要转动的方向和转向的角度，沿这个方向前进一步后再继续重复上述的过程。当障碍物高度超过0.5 m，那么避障决策输出信息——采矿车要避障，这个决策是精确的。而障碍物的距离和方位则是模糊决策的主要因素，作为每一步的判断，这2个变量既是上一步输出结果，也是下一步的输入，所以采用这2个信息作为模糊控制器的输入变量，分别以 r 、 a 代表（即障碍物的距离和方位角），模糊控制器的输出变量以 θ 表示（即偏转角的大小）。

1.2 环境信息及隶属度函数的确定

怎样获得 r 、 a 参数是解决问题的关键。为简化问题，探讨这个路径规划算法的有效性，本文仅研究水平方向二维路径规划的问题。

在采矿车离深海高度为0.2 m处配置1个声纳探测传感器，设定传感器的探测距离为20 m，可在采矿车前进方向和垂直于深海平面的方向内转动。在这种设置下，可获得被探测物体的实际距离和方位角，并根据障碍物的高度是否超过其所能探测到的范围判断是否有障碍物的信息。

深海采矿车在行走的过程中并不是工作区域里所有的障碍物都会对其产生影响，只是其前方一定宽度范围里的障碍物会影响采取的控制策略^[5]。设这个宽度为采矿车自身宽度（5 m）的2倍，那么，根据传感器的最大检测距离可算出所要扫描的角度为 30° ；再确定垂直方向的扫描范围。采矿车是否越障取决于障碍物高度是否超过0.5 m，故传感器垂直扫描的高度在20 m处达到0.5 m即可。为了较准确地得知障碍物的高度，设置传感器垂直扫描的高度在20 m处达到1.5 m，这样计算出垂直方向的最大扫描角度取整为 5° 。把这个角度范围分为15等份，即在 0.33° 时测得高度为0.1 m，依此类推，得出障碍物较为准确的高度。声纳探测传感器的工作过程可参考图2。

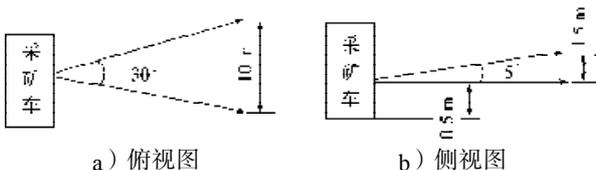


图2 采矿车声纳探测传感器工作图

Fig. 2 Functional diagram of sonar sensor of mining vehicle

接着应确定输入输出参数响应的论域。为便于工程实现，通常输入输出变量的语言值分别取：正大（ P_L ）、正中（ P_M ）、正小（ P_S ）、零（ Z_E ）、负小（ N_S ）、负中（ N_M ）、负大（ N_L ）。也可根据所控对象的具体情况，增加或减少论域上模糊语言值的个数。因设定声纳探测的有效距离为20 m，则声纳返回障碍物的距离可能是0~20 m之间的任意值。要进行模糊判断，则必须把输入的距离值进行量化。设距离 r 的论域是 X ，为了较直观地反映输入输出变量的情况，将距离 r 的大小量化为5个等级，分别表示为0、1、2、3、4，则有 $X=\{0, 1, 2, 3, 4\}$ ，即 $0 < r \leq 4$ m时等级为0； $4 < r \leq 8$ m时等级为1； $8 < r \leq 12$ m时等级为2； $12 < r \leq 16$ m时等级为3； $r > 16$ m时等级为4。输入变量 r 描述为5个等级，很近（ NL ）、近（ N ）、中（ M ）、远（ F ）、很远（ FL ），用三角函数形式表示如图3。

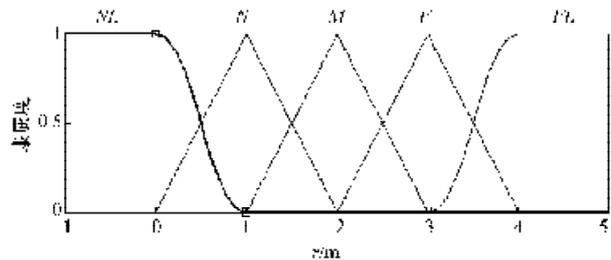


图3 障碍物距离 r 的隶属度曲线

Fig. 3 Membership curve of r — distance of the obstacle

根据声纳探测器的布置，得到障碍物的方位角 a 可能的返回值在 $0 \sim 30^\circ$ 之间。控制策略规定：当 $a > 15^\circ$ 时，采矿车右转；当 $a < 15^\circ$ 时，采矿车左转，并设定 $a = 15^\circ$ 时采矿车右转。当 a 的值为 $0 \sim 15^\circ$ 之间的时候，同样进行量化。设 a 的论域为 Y ，将其大小量化为3个等级，分别表示为0、1、2，则有 $Y=\{0, 1, 2\}$ ，即当 $0 < a \leq 5^\circ$ 时等级为0； $5^\circ < a \leq 15^\circ$ 时等级为1； $15^\circ < a \leq 30^\circ$ 时等级为2。当 a 的返回值为 $15^\circ \sim 30^\circ$ 之间的时候，系统自动地将返回值减去 15° ，则可以得到相同的论域。同时对输入变量 a 描述为3个等级：小（ S ）、中（ M ）、大（ L ），其隶属度函数曲线采用三角函数形式表示如图4。

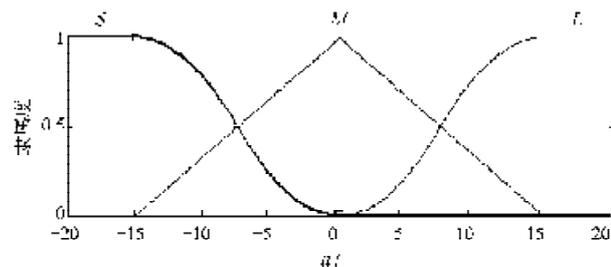


图4 障碍物方向角 a 的隶属度曲线

Fig. 4 Membership curve of a — angle of the obstacle

同理，选择控制输出量（偏转角）的论域为 Z ，且被量化为0、1、2、3、4，则有 $Z=\{0, 1, 2, 3, 4\}$ 。对

输出变量 θ 描述为 5 个等级: 很小 (SL)、小 (S)、中 (M)、大 (L)、很大 (LL), 其隶属度函数曲线采用三角函数形式表示如图 5。

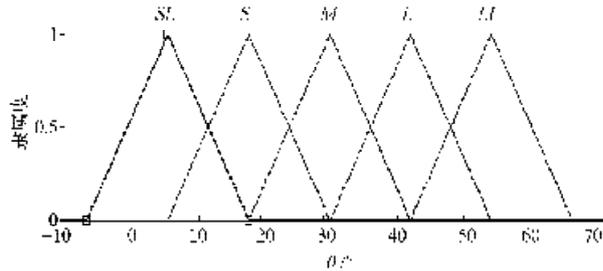


图 5 控制输出量 θ 的隶属度曲线

Fig. 5 Membership curve of θ —control output

1.3 避障规划模糊控制器模糊逻辑控制的知识库

根据移动式机器人研制专家控制策略的经验, 结合上述对输入输出的量化, 模糊控制器知识库中的模糊控制规则可以归纳为以下 15 条, 其遵循的主要原则是: 当障碍物较远或位于采矿车前进方向的两侧时, 采矿车输出行走的偏转角比较小, 否则比较大:

- If $r=NL$ and $a=L$ then $\theta=LL$;
- If $r=NL$ and $a=M$ then $\theta=L$;
- If $r=NL$ and $a=S$ then $\theta=M$;
- If $r=N$ and $a=L$ then $\theta=L$;
- If $r=N$ and $a=M$ then $\theta=M$;
- If $r=N$ and $a=S$ then $\theta=S$;
- If $r=M$ and $a=L$ then $\theta=M$;
- If $r=M$ and $a=M$ then $\theta=S$;
- If $r=M$ and $a=S$ then $\theta=SL$;
- If $r=F$ and $a=L$ then $\theta=S$;
- If $r=F$ and $a=M$ then $\theta=SL$;
- If $r=F$ and $a=S$ then $\theta=SL$;
- If $r=FL$ and $a=L$ then $\theta=SL$;
- If $r=FL$ and $a=M$ then $\theta=SL$;
- If $r=FL$ and $a=S$ then $\theta=SL$ 。

1.4 模糊推理过程

上述控制规则共有 15 条, 相互之间的关系为或连接的, 即

- R_1 : If $r=NL(A_1)$ and $a=L(B_1)$ then $\theta=LL(C_1)$;
- \vdots
- R_{15} : If $r=FL(A_5)$ and $a=L(B_5)$ then $\theta=SL(C_5)$ 。

因为 $R_1 \sim R_{15}$ 之间为或连接, 则根据模糊关系运算法则 (并集运算), 这些规则可以整体表示为下列关系:

$$\zeta_c^0(\theta) = \zeta_{r_1}^0(r_1^0, a_1^0, \theta) \vee \dots \vee \zeta_{r_{15}}^0(r_{15}^0, a_{15}^0, \theta), \quad (1)$$

而其中的第 i 条规则本身模糊关系表现为交集关系, 其隶属度函数

$$\zeta_{r_i}(r_i^0, a_i^0, \theta), \quad (2)$$

可以表示为:

$$\zeta_{r_i}(r_i^0, a_i^0, \theta) = \zeta_{r_i}(r_i^0) \wedge \zeta_{a_i}(a_i^0) \wedge \zeta_{r_i}(\theta). \quad (3)$$

如果用 ω_i 表示对第 i 条规则的适用度, 则

$$\omega_i = \zeta_{r_i}(r_i^0) \wedge \zeta_{a_i}(a_i^0), \quad (4)$$

$$\zeta_c(\theta) = [\omega_1 \wedge \zeta_{r_1}(\theta)] \vee \dots \vee [\omega_{15} \wedge \zeta_{r_{15}}(\theta)]. \quad (5)$$

1.5 去模糊化

经模糊推理后的 ζ_c 仍然是 1 个模糊量, 它是反映控制语言不同取值的一种组合, 但实际被控制对象只能接受 1 个控制量, 因此需要去模糊化。应用重心法可得:

$$\Delta\theta^1 = \frac{\sum_{n=1}^{N_1} \Delta\theta_n \zeta_{\Delta\theta}(\Delta\theta)}{\sum_{n=1}^{N_1} \zeta_{\Delta\theta}(\Delta\theta)}, \quad (6)$$

式中: N_1 为输出变量 $\Delta\theta$ 模糊化时论域的分档数;

$\zeta_{\Delta\theta}(\Delta\theta)$ 为 $(\Delta\theta_n)$ 模糊量 $\Delta\theta$ 的隶属度值;

$\Delta\theta_n$ 为输出变量 $\Delta\theta$ 的每个隶属函数的中心值。

2 算法仿真及其分析

2.1 避障算法流程及仿真控制器结构

采矿车绕障方向根据声纳探测器返回的障碍物方位角 a 的返回值确定。绕障示意如图 6 所示。



左边障碍物

右边障碍物

图 6 深海采矿车避障示意图

Fig. 6 Obstacle avoidance instruction of seabed mining vehicle

在给定的工作区域中采矿车在给定的速度下行走, 根据避障声纳返回的距离 r , 判断障碍物是否在声纳探测的有效范围内, 也即判断能否发现障碍物。若不能发现障碍物, 则采矿车按预定的路径执行采矿任务; 若障碍物已在声纳探测的有效范围内, 则读取方位角 a 及距离 r 信息, 并将 a, r 信息作为模糊控制器的输入, 与模糊控制规则库中的规则进行匹配, 由模糊控制器得到偏转角 θ , 判断 θ 是否大于 15° 。若 $\theta > 15^\circ$, 采矿车向右转相应角度并前行; 若 $\theta \leq 15^\circ$, 采矿车向左转相应角度并前行。避障规划流程如图 7。

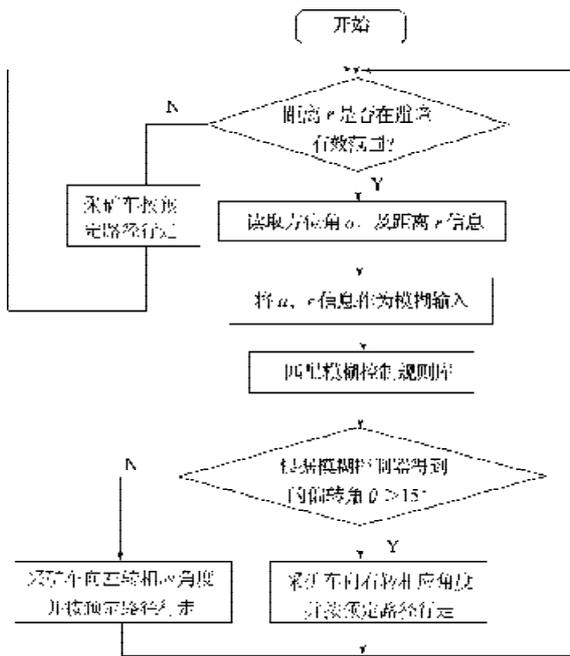


图7 避障规划流程图
Fig. 7 Flow chart of obstacle avoidance plan

仿真中所需的模糊控制器结构见图8所示。这是一个二维输入一维输出的模糊控制系统。输入量为障碍物距离和方位角，通过模糊控制器得到采矿车的偏转角度。从该角度作用于采矿车上为一个二阶模型，得到输出响应曲线。

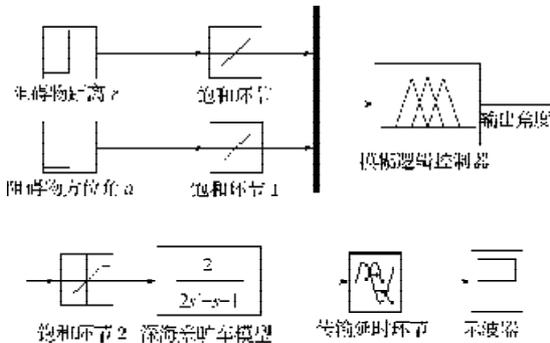


图8 模糊控制器仿真结构图
Fig. 8 Simulated structure of fuzzy controller

2.2 仿真结果

深海采矿车模糊控制仿真所得到的避障结果如图9所示。

图9中黑色轨迹线表示采矿车的行进方向，方框、椭圆和梯形表示障碍物。当采矿车探测到方形障碍物时， α 的返回值大于 15° ，采矿车向右转弯；当采矿车探测到梯形障碍物时， α 的返回值小于 15° ，则采矿车向左转弯；当前方障碍物在声纳探测器有效范围外时，采矿车避开前进方向上不确定的障碍物，按预定的路径继续执行任务。

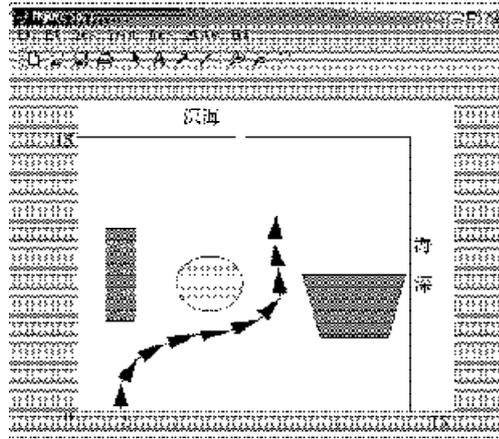


图9 仿真结果图
Fig. 9 Diagram of simulated result

3 结语

通过仿真，表明了采矿车避障规划的控制和本文设计的模糊控制器的思路是一致的，说明本文的控制算法是有效的，它能使深海采矿车避开前进方向上不确定的障碍物，以理想的路径行走。

参考文献:

- [1] 王萌, 王晓荣, 李春贵, 等. 改进人工势场法的移动机器人路径规划研究[J]. 计算机工程与设计, 2008(3): 1504-1506. Wang Meng, Wang Xiaorong, Li Chungui, et al. Study Local Path Planning of Mobile Robot Based on Improved Artificial Potential Field Method[J]. Computer Engineering and Design, 2008(3): 1504-1506.
- [2] 鲁庆. 基于栅格法的移动机器人路径规划研究[J]. 电脑与信息技术, 2007(12): 24-27. Lu Qing. Research on Grid-Base Global Path Planning for Mobile Robot[J]. Computer and Information Technology, 2007(12): 24-27.
- [3] 卢晓军, 李焱, 贺汉根. 一种基于自由空间法的虚拟人行走规划方法[J]. 计算机工程与科学, 2005(8): 60-61. Lu Xiaojun, Li Yan, He Hangen. Walking Planning Method for Virtual Humans Based on the C-Space Method[J]. Computer Engineering and Science, 2005(8): 60-61.
- [4] 黄雪峰. 预定路径上海底集矿车行走的避障规划及可视化研究[D]. 长沙: 中南大学, 2004. Huang Xuefeng. The Obstacle Avoidance Plan of Seabed Mining Vehicle on the Planned Paths and the Visual Study [D]. Changsha: Central University, 2004.
- [5] 皮旷怡, 马孜, 徐慈朴. 未知环境下的移动机器人定位及实时避障[J]. 控制工程, 2007(5): 162-165. Pi Kuangyi, Ma Zi, Xu Cipu. Localization and Real-Time Obstacle Avoidance of Mobile Robots in an Unknown Environment [J]. Control Engineering of China, 2007(5): 162-165.

(责任编辑: 罗立宇)