

文章编号: 1001-0920(2010)01-0141-04

深海采矿车行走的专家模糊控制

戴圣伟, 胡沁春, 周 玉

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412008)

摘 要: 深海采矿车的作业过程, 受作业环境和采矿车自身的影响, 具有随机性、非线性和时变等特性, 针对该复杂过程, 提出了专家模糊控制算法. 该算法参考履带车辆的运动学方程, 结合履带车辆人工操作经验整合的专家规则, 构成专家系统, 实现采矿车绝对速度和航向角的闭环控制; 采用模糊控制算法, 对采矿车的左、右履带速度进行控制. 仿真结果验证了该方案的可行性和有效性.

关键词: 行走控制; 专家系统; 模糊控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Fuzzy expert control over the walking of the deep-sea mining vehicle

DAI Sheng-wei, HU Qin-chun, ZHOU Yu

(College of Electric and Information Engineering, Hu 'nan University of Technology, Zhuzhou 412008, China.

Correspondent: DAI Sheng-wei, E-mail: dai_sheng_wei @163.com)

Abstract: The work of the deep-sea mining vehicle can be affected by the environment and the function of the vehicle itself. Therefore, its work can be random, non-linear, and time-dependent. To the complicated process, the fuzzy logic expert algorithm is introduced, which refers to the kinematic equation of the track vehicle, combines the expert rules integrated from manual operation of track vehicle, comprises expert system, and therefore realizes the absolute speed of the vehicle and the open loop control of the course angle. Fuzzy logic expert algorithm can control the speed of the left and right track of the mining vehicle. Simulation result shows the feasibility and effectiveness of this project.

Key words: Working control; Expert system; Fuzzy control

1 引 言

1991 年, 中国大洋协会成为继印度、原苏联、法国、日本之后第 5 个已登记的国际海底开发先驱投资者, 海洋多金属结核多分布在 5 km 左右的深海底表层. 采矿车在海底作业过程中, 会受到作业环境的影响. 这些作用在采矿车上的影响具有未知性和随机性, 对于这种复杂控制过程, 采用常规控制算法很难达到其控制要求. 而模糊控制技术的优越性在于不需要知道复杂的数学模型, 只需根据经验和规则即可实现控制. 由于采矿车工况参数和深海底环境的不确定性, 简单的模糊控制不能满足其要求. 在此, 本文提出了专家模糊控制算法对采矿车进行控制, 并用 Matlab 进行仿真实验, 仿真结果表明这种算法是可行的.

2 深海采矿车专家模糊控制

2.1 深海采矿车自行走全自动调节

采矿车只能通过左、右履带的速度差实现转向, 由于深海履带采矿车工作于 5 km 海底, 受到深海沉积物土力学特性及软管随机扰动的影响, 控制更为困难. 履带车辆的人工操作方法比较成熟, 操作人员(专家)可根据经验控制履带车按预定轨迹行走. 这里将履带车辆人工操作经验整合为专家规则, 参考履带车辆转向时的运动学方程, 构成专家系统, 根据航向角偏差和速度偏差, 实时给定左、右履带速度^[1]. 但是基于专家规则调节采矿车速度的控制未能构成左、右履带速度闭环, 不能实现对左、右履带速度精确调节. 深海采矿车采用液压驱动, 液压驱动的履带车辆表现为强烈的非线性和滞后性, 常规的控制很难达到其要求. 模糊控制算法不需要系统数学模型, 能够对复杂非线性系统实现精确控制.

收稿日期: 2009-02-19; 修回日期: 2009-05-10.

基金项目: 国际海底区域研究开发“十五”项目(DY105-03-02-06); 国家重点研究发展规划项目(2002CB312203).

作者简介: 戴圣伟(1978—), 男, 湖南邵阳人, 讲师, 硕士, 从事深海采矿车的研究; 胡沁春(1976—), 男, 湖南溆浦人, 工程师, 博士, 从事信号处理、神经网络等研究.

基于调节的快速性和精确性,本文构造一个专家模糊控制器,构成速度闭环,实时控制采矿车左、右履带速度.控制结构如图 1 所示,其中: $a_{\text{给}}$ 为采矿车给定航向角; $v_{\text{给}}$ 为给定速度; a 和 v 分别为航向角和速度的检测值; v_L 和 v_R 分别为左、右履带检测速度.当采矿车按给定路径行走时,若行走方向或速度存在偏差,则首先通过专家系统按一定规则给出左、右履带速度设定值;然后通过模糊控制器对左、右履带速度进行调整.图 1 中模糊控制器结构如图 2 所示.

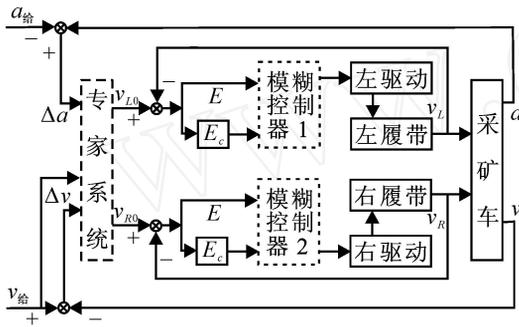


图 1 采矿车行走全自动调节原理

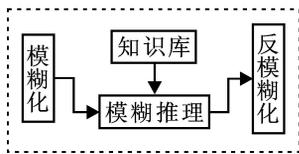


图 2 模糊控制器结构

2.2 采矿车转向时的运动方程

履带车在水平转向时,可考虑为二维运动模型.左、右履带速度分别为 v_L 和 v_R 时,采矿车质心的前进速度可近似表述为

$$v = \frac{v_L + v_R}{2} \quad (1)$$

采矿车转向时的角速度可表示为

$$\omega = \frac{v_L - v_R}{B} \quad (2)$$

其中 B 为履带的中心距. 所以有

$$v_L = v + \omega B/2 \quad (3)$$

$$v_R = v - \omega B/2 \quad (4)$$

采矿车质心的位置为

$$x = \int v(t) \cos(\theta(t)) dt \quad (5)$$

$$y = \int v(t) \sin(\theta(t)) dt \quad (6)$$

2.3 采矿车专家系统规则

由于深海底复杂的环境及自身的影响,上述履带车的运动方程只能定性表示深海底履带采矿车的运动状态,不能精确描述车体运动状态与左、右履带实际速度之间的关系.参考人工驾驶车辆的原理,本文设计了根据航向角偏差 a 和速度偏差 v 给定

左、右履带速度调节值 v_{L0} 和 v_{R0} 的专家规则,具体规则如下.

令 v_a 为方位角偏差对应的左、右履带速度调节值,针对方位角误差,按以下规则对 v_a 进行调整^[2]:

若 $|a| < 1^\circ$, 则
$$v_a = 10 \sin(a); \quad (7)$$

若 $|a| < 5^\circ$, 则
$$v_a = 50 \sin(a); \quad (8)$$

若 $|a| < 15^\circ$, 则
$$v_a = 200 \sin(a); \quad (9)$$

若 $|a| < 180^\circ$, 则
$$v_a = 900 \sin(a). \quad (10)$$

根据速度偏差 v 和给定速度调节值 v_a 调节左、右履带速度,当给定速度与实际速度无偏差时,有

$$v_{L0} = v_{\text{给}}, \quad (11)$$

$$v_{R0} = v_{\text{给}}. \quad (12)$$

当给定速度与实际速度存在偏差时,有

$$v_{L0} = v_{\text{给}} + v + v_a, \quad (13)$$

$$v_{R0} = v_{\text{给}} + v - v_a. \quad (14)$$

3 模糊控制器具体设计步骤及实现

3.1 模糊控制器语言变量的定义

模糊控制是以被控量的偏差 E 和偏差的变化率 E_c 为输入、以 U 为输出构成语言规则. 设偏差 e , 偏差变化率 e_c 和控制量 u 的论域分别为 E, E_c, U , 其取值为

$$\begin{aligned} E &= \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, \\ &\quad 1, 2, 3, 4, 5, 6\}, \\ E_c &= \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}, \\ U &= \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}. \end{aligned} \quad (15)$$

对偏差 E , 偏差变化率 E_c 及控制量 U 的模糊集均定义为^[3,4] $\{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\}$.

3.2 模糊控制器的知识库

根据以往移动式机器人专家经验的控制策略,

表 1 输出 U 的模糊规则

E	E_c						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	PM	PS	ZO
NM	NB	NB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NS	NB	PM	PM	PS	ZO	ZO	NS
ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NS	NM
PS	PS	ZO	ZO	NS	NM	NM	PB
PM	ZO	ZO	NS	NM	NM	PB	PB
PB	ZO	NS	NM	PB	PB	PB	PB

结合前面对输入输出的量化, 模糊控制规则可归纳为 49 条, 输出 U 的模糊规则如表 1 所示.

3.3 模糊映射

模糊控制规则总共有 49 条, 相互之间的关系为或连接, 即

$$R_1: \text{If } E_c = \text{NB}(A_1) \text{ and } E = \text{NB}(B_1),$$

$$\text{Then } U = \text{PB}(C_1),$$

...

$$R_{49}: \text{If } E_c = \text{PB}(A_{49}) \text{ and } E = \text{PB}(B_{49}),$$

$$\text{Then } U = \text{NB}(C_{49}). \tag{16}$$

因为 $R_1 \sim R_{49}$ 之间为或连接, 所以这些规则可整体表达为下列关系:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_{49}. \tag{17}$$

根据模糊关系运算法则(并集运算), 有

$$\begin{aligned} r_i(E_c^0, E_i^0, U) &= \dots \\ &= r_{49}(E_c^0, E_i^0, U), \end{aligned} \tag{18}$$

而其中的第 i 条规则本身, 模糊关系表现为交集关系, 其隶属度函数为

$$\begin{aligned} r_i(E_c^0, E_i^0, U) &= \\ &= A_i(E_c^0) \wedge B_i(E_i^0) \wedge C_i(U). \end{aligned} \tag{19}$$

如果用 r_i 表示 (E_c^0, E_i^0) 对第 i 条规则的适用度, 有

$$r_i = A_i(E_c^0) \wedge B_i(E_i^0), \tag{20}$$

则

$$\begin{aligned} c(U) &= [r_1 \cup r_2 \cup \dots \cup r_{49}] \\ &= [r_1 \cup r_2 \cup \dots \cup r_{49}]. \end{aligned} \tag{21}$$

3.4 去模糊化

去模糊是指将一个模糊集转化为一个数, 用该数代替模糊集, 称之为去模糊. 重心法的原理与求取物件的重心位置是相同的, 即利用求取模糊集合的中心值来代表整个模糊集合. 应用重心法, 可求得

$$U^* = \frac{\int B(U) U dU}{\int B(U) dU}. \tag{22}$$

4 专家模糊算法的仿真

为验证专家模糊控制算法的有效性, 在 Matlab 环境下进行了仿真实验^[5,6]. 仿真模型如图 3 所示.

以给定深海采矿车车体航向角和速度为输入, 以采矿车的实际航向角、速度为输出, 如图 4 所示. 给定输入速度为 1 m/s, 航向角为 70°, 仿真时间 70 s, 得出了仿真曲线. 从图中可以看出, 上升时间为 2.8 s (达到参考值的 95%), 基本没有超调量, 稳态误差可小于 0.5%, 稳态性能较好.

图 5 为深海采矿车行走轨迹仿真曲线. 仿真条件为: 给定输入速度 0.7 m/s, 航向角初始值为 65.8, 仿真时间 90 s. 虚线为预定采矿车行走轨迹曲线, 实线为采矿车仿真轨迹曲线. 从图中可以看出, 采矿车仿真曲线与预定行走曲线偏离幅度 < 0.2 m, 满足偏差 < 1 m 的要求, 说明本控制算法可实现采矿车行走的即时调节, 满足调节的快速性和实时性. 在轨迹跟踪方面亦能达到很好的效果, 满足深海采矿车行走控制要求^[7,8].

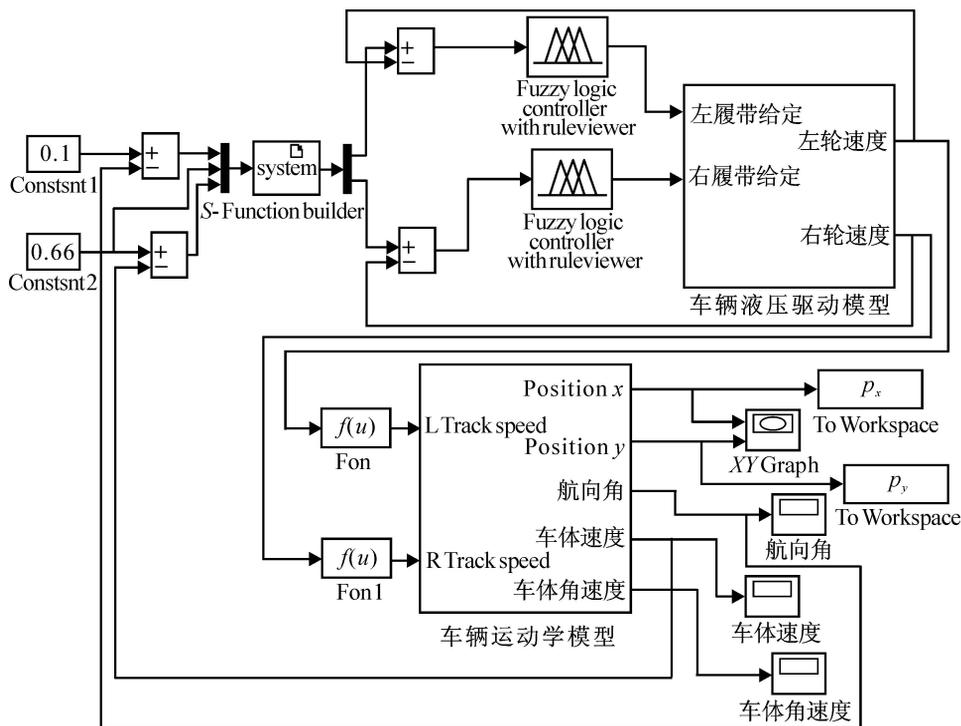


图 3 采矿车仿真模型

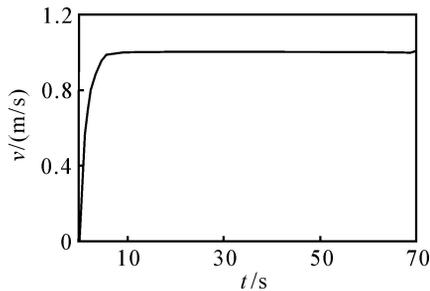


图4 深海采矿车专家模糊控制车体速度曲线

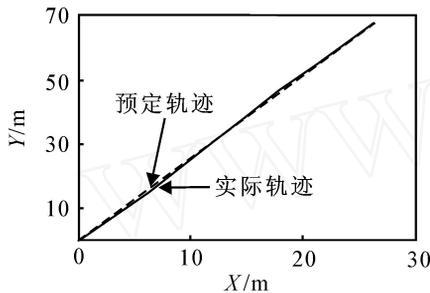


图5 深海采矿车轨迹仿真曲线

5 结论

本文针对深海采矿车工作环境的多变性特点和采矿车控制系统的各参数的时变性、非线性特点,提出了控制规则专家模糊控制策略.采用 Matlab 进行仿真,仿真结果表明,采用专家模糊控制算法可使采矿车有效跟踪给定的规划路径,深海采矿车的直线行走轨迹控制精度满足深海采矿行走要求,验证了算法的可行性和有效性.该研究结果对履带机器人的运动控制也具有一定的指导意义.

参考文献(References)

- [1] 陈峰,王随平,韩晓英.深海集矿机器人的自修正专家模糊控制[J].中南大学学报,2005,36(6):1059-1062.
(Chen F, Wang S P, Han X Y. Self-adjustable expert fuzzy control of deep ocean mining robot [J]. J of Central South University of Technology, 2005, 36(6): 1059-1062.)
- [2] 韩晓英,王随平,陈峰,等.深海采矿车的自修正专家模糊控制[J].计算技术与自动化,2005,3(1):10-12.
(Han X Y, Wang S P, Chen F, et al. Self-adjustable expert fuzzy control of deep ocean mining robot [J]. Computing Technology and Automation, 2005, 3(1): 10-12.)
- [3] 王随平,熊光辉,陈勇.深海集矿机模型车避障系统设计[J].控制技术,2008,16(5):640-642.
(Wang S P, Xiong G H, Chen Y. The design of obstacle avoidance system in the mould of deep-sea mining vehicle [J]. Control Technology, 2008, 16(5): 640-642.)
- [4] Zhang Q, Yang Y M, Li Y. Soccer robot anti-collision control based on modified artificial potential method[J]. Robot, 2007, 24(1): 13-15.
- [5] 刘永,彭正洪.基于 MATLAB 的模糊逻辑控制系统的设计与仿真[J].武汉大学学报,2008,41(2):132-135.
(Liu Y, Peng Z H. Design and simulation of fuzzy logic control system based on MATLAB[J]. Engineering J of Wuhan University, 2008, 41(2): 132-135.)
- [6] Reignier P. Fuzzy technique for mobile robot obstacle avoidance [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2007, 12(12): 143-153.
- [7] Wang J S, Liu X J. Analysis of a novel cylindrical 3-DoF parallel robot [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2008, 42(1): 31-46.
- [8] 韩晓英.深海集矿机行走控制研究[D].长沙:中南大学,2006.
(Han X Y. Research on the walking control of deep-sea mining vehicle [D]. Changsha: Central South University, 2006.)
- [8] 曹武军,李成刚,王学林,等.VMI环境下收入共享契约分析[J].管理工程学报,2007,21(1):51-55.
(Cao W J, Li C G, Wang X L, et al. Analysis on the revenue sharing contract in VMI[J]. J of Industrial Engineering / Engineering Management, 2007, 21(1): 51-55.)
- [9] 刘鹏飞,谢如鹤,刘广海.基于收益共享机制的VMI协调[J].系统工程,2008,26(7):81-85.
(Liu P F, Xie R H, Liu G H. Vendor-managed inventory coordination based on revenue sharing mechanism[J]. Systems Engineering, 2008, 26(7): 81-85.)
- [10] 张维迎.博弈论与信息经济学[M].上海:上海人民出版社,2004.
(Zhang W Y. Game theory and information economics [M]. Shanghai: Shanghai People Press, 2004.)

(上接第140页)