

基于模糊算法的 Sigmoid 函数的 AUV 控制

AUV Control Using Sigmoid Function with fuzzy algorithm

(1.九一二四五部队;2.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 赵云峰¹ 宋立维² 吴志勇²

ZHAO Yun-feng SONG Li-wei WU Zhi-yong

摘要: 自主式水下机器人(AUV)运动的 S 面控制是一种传统的有效方法,为解决其完全依靠人工经验调整控制参数的问题,依据具备一定自适应与学习能力的模糊参数自适应 PID 控制器,提出了一种基于模糊的改进 S 面控制方法,将 S 面控制和模糊自适应控制相结合,设计了基于模糊的改进 S 面控制系统。在相同实验条件下,该系统较 S 面控制在达到平衡时间上缩短了 30s,收敛时间缩短了 60s。实验结果表明,该方法是一种有效的控制策略,系统的自主性与适应性得到了加强。

关键词: AUV; 模糊控制; Sigmoid 函数; S 面控制

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Abstract: S Plane Control (SPC) of the Autonomous Underwater Vehicles (AUV) is a traditional and effective method. Due to the parameters of the controller have to be adjusted manually which needs expert knowledge, the Improved S Plane Control (ISPC) with fuzzy algorithm is put forward according to PID controller with fuzzy parameters, self-adapting and self learning ability. The ISPC system is designed combined with S Plane Control and fuzzy control algorithm. Compared to the SPC, at the same condition, the balance time is shortened 30s and the constringency time is shortened 60s. The independence and adaptability of the AUV is enhanced.

Key words: AUV; Fuzzy control; Sigmoid function; S Plane Control

1 引言

AUV (Autonomous Underwater Vehicle)——自主式或智能式水下机器人属于第三代水下机器人,作为潜艇或水面舰船的配套武器,可以并且适合在危险的区域执行作战任务,在军事领域具有广阔的应用前景,自主式回收控制技术的研究是目前国内外对其研究的重点环节。复杂的工作环境、各个自由度运动的相互耦合以及任务的可变性,表明了水下机器人的动力学系统是强非线性、时变的,同时其自主性与适应性,要求控制系统应具备良好的自适应和自学习能力。传统控制方法都要求被控对象能用线性或至少是弱非线性数学模型描述,而且,模型对被控对象的描述越精确越好,数学模型一旦建立,被控对象的动力学特性的任何变化,都将影响控制的性能。因此,传统控制方法很难满足水下机器人运动精确控制的要求。

水下机器人常用的控制方法有模糊控制和神经网络控制。神经网络控制中网络结构的设定和权值初值的确定带有随意性,需要人的经验,而且它还存在着局部极小的问题,这些都一定程度上限制了它的应用。S 面控制是一种简单实用的控制方法,其控制效果在仿真试验和海上试验中得到了很好的验证。但是其控制器参数完全靠人工调整,需要设计者有丰富的实际经验。

模糊自适应控制既适合此类强非线性、难于建模的控制系统,同时又具备一定的自适应与学习能力。本文仿照模糊参数自适应 PID 控制器,提出了一种基于模糊的改进 S 面控制方法,将 S 面控制和模糊自适应控制相结合,设计了基于模糊的改进 S 面控制系统。

2 模糊控制器与 S 面控制简述

2.1 模糊控制器的基本结构

模糊控制器主要有以下 4 部分组成:

(1) 模糊化:这部分的作用是将输入的精确量转换成模糊量。其中输入量包括外界的参考输入、系统的输出或状态等。

(2) 知识库:包含了具体应用领域中的专家知识和要求的控制目标。

(3) 模糊推理:模拟人的基于模糊概念的推理能力,是模糊控制器的核心。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。

(4) 清晰化:作用是将模糊推理得到的控制量(模糊量)变换为实际用于控制的清晰量。

2.2 S 面控制

依据规模糊控制器的控制规则,控制输出的变化是有规律可循的,可以用一条光滑 Sigmoid 曲线(是一个 Sigmoid 函数)来拟合,如图 1。

事实上,光滑曲线可以看作无数条长度趋向于零的折线相连。我们在设计模糊控制器的时候,通常采用的是两边疏松,中间密的形式(即偏差大时采用控制得比较粗,而偏差小时控制得比较细),这一点与 Sigmoid 函数的变化形式是一致的。因此, Sigmoid 函数在一定程度上体现了模糊控制的思想。同理,整个模糊控制规则库对应的折线面,也就可以用光滑曲线的曲线面代替。

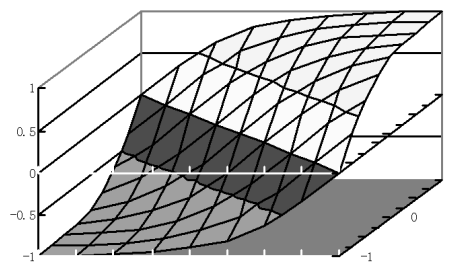


图 1 Sigmoid 曲面

Fig.1 Sigmoid plane

赵云峰: 硕士研究生

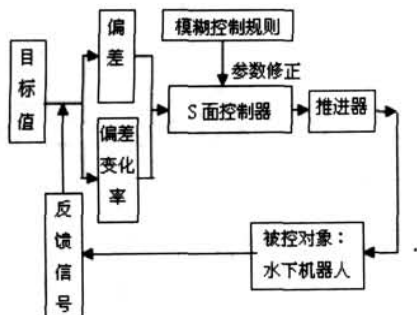


图 2 基于模糊的改进 S 面控制系统

Fig.2 S Plane control system base on fuzzy algorithm

一般地, Sigmoid 曲线函数为: $y = 2.0 / (1.0 + e^{-kx}) - 1.0$ (1)

那么, Sigmoid 曲面函数为: $z = 2.0 / (1.0 + e^{-(k_1x - k_2y)}) - 1.0$ (2)

因此, 设计的 S 面控制器的控制模型为:

$$u = 2.0 / (1.0 + e^{-(k_1e - k_2\dot{e})}) - 1.0 \quad (3)$$

其中, e 和 \dot{e} 为控制的输入信息(偏差和偏差变化率, 通过归一化处理), u 为控制输出, 在这里为各个电机的电压指令, k_1 和 k_2 分别为对应偏差和偏差变化率的控制参数, 可以改变其对应自由度的变化速度。

由式(3)控制模型可以看出, 控制器需要调整的参数只有 k_1 和 k_2 , 但其调整只能手工完成。为使控制器有更高的精度, 达到更好的控制效果, 需要寻找一种自适应的方法实时的调整参数, 实现控制系统的自适应和自学习能力。

3 基于模糊的改进 S 面控制系统

3.1 系统结构

基于模糊的改进 S 面控制系统是以模糊规则实时调节 S 面控制参数的一种自适应控制系统。模糊规则给出的是在不同实时状态下对 S 面参数的推理结果。改进的 S 面控制系统的结构如图 2 所示: 这是在一般的 S 面控制系统的基础上, 加上一个模糊控制规则环节, 其目的是为了根据系统实时状态调节 S 面的参数。因此, 基于模糊的改进 S 面控制系统的关键在于模糊控制规则对 S 面参数的调节机理及过程。

式 3 控制模型中, 在一个采样周期 T 内, e 和 \dot{e} 是输入量, 故它们都是已知量; 而未知量, 即参数 k_1 和 k_2 , 是需要进行确定的。

为了寻找可以实时推理出恰当的 S 面参数的模糊规则, 对有关参数作一些规定。

根据仿真结果及以往的经验, k_1 的范围为 $[0, 10]$, k_2 的范围为 $[0, 10]$, 通过线性变换使 k_1 和 k_2 的范围归一化到 $[0, 1]$:

$$k_1' = 0.1k_1, k_2' = 0.1k_2.$$

利用模糊控制规则推理出 k_1' 和 k_2' 后, 再通过上面的式子求出 k_1 和 k_2 , 从而可以及时对系统进行适应性控制。这样, 基于模糊的改进 S 面控制器就可以对系统实现自适应控制。

3.2 精确值的模糊化

一般地, 控制器输入的模糊化就是把物理量的精确值转换成语言变量值, 其过程包括连续量的离散化和输入对语言变量的隶属度运算。为了求隶属度值的方便, 将输入的连续的物理量进行归一化处理。

设 $e(n)$ 和 $\dot{e}(n)$ 分别为 nT 时刻系统的偏差和偏差变化率, T 为采样周期。 R_1 、 R_2 分别为偏差和偏差变化率基本论域中的最大值, 则比值 e/R_1 及 \dot{e}/R_2 为归一化后的输入量, 所以归一化处理也就是将输入量从实数域上的一个连续闭区间转换到区间

$[-1, +1]$ 上来。我们在这里定义 e 和 \dot{e} 为归一化后的值。本文采用模糊推理的强度转移法, 通过图 3 所示的三角形隶属函数, 就可得到输入物理量对其论域相应等级的隶属度值。 e 和 \dot{e} 的语言变量值取“负大”(NB), “负中”(NM), “负小”(NS), “零”(ZO), “正小”(PS), “正中”(PM), “正大”(PB) 共七个值。它们的隶属函数都是三角形, 并且, 每个值所取的范围宽度相等。

修正系数 k_1' 和 k_2' 是用于求取参数 k_1 和 k_2 的; 它们是在闭区间 $[0, 1]$ 中取值的; 并且, 其语言变量值只取“大”(B) 和“小”(S) 这两种。这两个语言变量值的隶属函数 μ_B 用下式表示: $\mu_B(x) = -\ln(1-x)/4$ 或者 $x(\mu) = 1 - e^{-4\mu}$, 对于语言变量值“小”(S) 的隶属函数 μ_S , 同样可以用数学表达式表示如下: $\mu_S(x) = -\ln x/4$ 或者 $x(\mu) = e^{-4\mu}$ 。

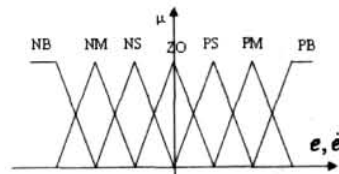


图 3 e 和 \dot{e} 的语言变量值

Fig.3 language variable of e and \dot{e}

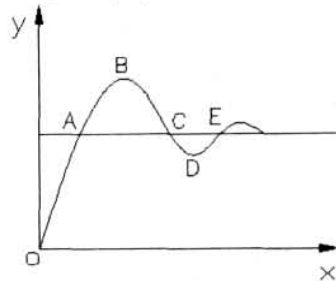


图 4 一般过程对阶跃的响应

Fig.4 Common process response to step signal

3.3 模糊控制规则

模糊控制规则在改进的 S 面控制系统中, 是一种根据系统偏差, 偏差变化率而推断出 S 面参数的修正系数 k_1' 和 k_2' 的推理规则。这些规则根据 e 和 \dot{e} 状态的不同而形成一系列不同条件语句。

推断修正系数 k_1 和 k_2 的模糊控制规则的格式如下:

if e is A_i and B_i is k_1' then C_i is k_2' , D_i is

其中, $i = 1, 2, \dots, m$

A_i 是 e 偏差的语言变量值, B_i 是偏差变化率 \dot{e} 的语言变量值, C_i 是修正系数 k_1' 的语言变量值, D_i 是修正系数 k_2' 的语言变量值。

模糊控制规则是用于修正 S 面参数的, 根据过程的阶跃响应情况来考虑求取。一般的过程对阶跃响应的情况如图 4 所示。图中有 O, A, B, C, D, E 等需要着重加以考虑的点, 并且以这些点为主来形成模糊控制规则。

在开始时刻, 即 O 点, 为了取得快速的上升时间, 需要较大的控制信号。为了产生大的控制信号, 则要求 S 面控制器具有大的参数 k_1 , 小的参数 k_2 。所以, 这时, 要求有 k_1' 为“大”(B) 模糊量; k_2' 为“小”(S) 模糊量。对于图 7 中的 A 点, 由于这时响应等于给定值, 所以希望尽可能避免过大的超调。这就要求控制信号尽可能小。故而, 这时的 S 面控制器的 k_1 要小, k_2 要大。从而, 可以使系数尽量能稳定于给定值。

通过对一般过程对阶跃输入的响应情况的分析, 从而得到了 e 和 \dot{e} 在不同情况时, S 面控制器的有关参数的修正系数 k_1' 和 k_2' 的模糊控制规则。对于上面在 O 时刻所得到的模糊控

制规则,实际是由下面两条规则组成:

if e is PB and \dot{e} is ZO then k_1' is B; if e is PB and \dot{e} is ZO then k_2' is S

从一般过程对阶跃输入的响应情况,可以得到 S 面控制器在实时工作有 e 和 \dot{e} 时,从而推出合理的 k_1' 和 k_2' 的模糊控制。

3.4 模糊推理机理

3.4.1. 前件强度的求取

前件强度的求取是隶属度相乘的过程。在已知 e 和 \dot{e} 的值时,则可求出它们对应的模糊量 A 和 B 的隶属度:

对于 e , 有 $\mu_A(e)$; 对于 \dot{e} , 有 $\mu_B(\dot{e})$ 。

从而可以得到前件的强度 $\mu_i = \mu_i = \mu_A(e) * \mu_B(\dot{e})$

3.4.2. 后件结果的求取

对于 k_1' 而言,它的结果值 k_{1i}' 就是隶属函数 C_i 的隶属度等于前件强度 μ_i 时的对应元素,即是 $\mu_{C_i}(x_i) = \mu_i$,从而有 $k_{1i}' = x_i$ 。

3.4.3. 反模糊化

从图 3 的 e 和 \dot{e} 的语言变量值的隶属函数图形可知,当 e 和 \dot{e} 为某一特定值时,所涉及的模糊控制规则可以一条,两条或四条。一般用它的重心来表示控制量的精确值 k_1' :

$$k_1' = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i k_{1i}'}{\sum_{i=1}^n \mu_i}$$

同理,对于 k_2' , $k_2' = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i k_{2i}'}{\sum_{i=1}^n \mu_i}$

求出 k_1' 和 k_2' 后,则 S 面控制参数 k_1 和 k_2 就可以分别求出,带入公式(3)即可得出 S 面控制器的控制模型。

4 实验结果

在外界环境相同的情况下,相同的初始参数下基于模糊的改进的 S 面控制与 S 面控制试验效果进行比较,结果如图 5 所示。其中图 a 是初始 $k_1=10.0, k_2=8.0$, 初始参数过大, S 面控制超调,且在目标点附近震荡,改进的 S 面控制通过自学习自动修改参数,能减小超调,并很快达到平衡;图 b 是初始 $k_1=3.0, k_2=8.0$, 初始参数过小,收敛速度过慢,通过自学习的改进,能加快收敛,达到较好控制效果。

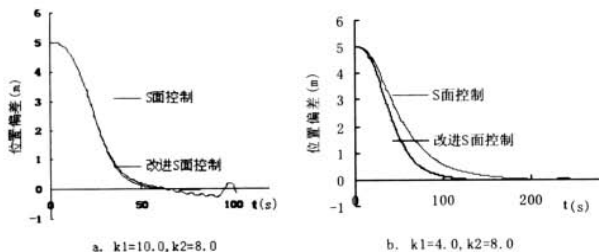


图 5 实验结果

Fig.5 Testing results

5 结论

本文对水下机器人在回收过程中的控制问题进行了分析,通过比较水下机器人几种控制模式,提出了一种基于模糊的改进 S 面控制方法,将 S 面控制和模糊自适应控制相结合,设计了基于模糊的改进 S 面控制系统,在相同实验条件下该系统在平衡时间上缩短了 30s,收敛时间缩短了 60s。结果表明,该控制方法是一种行之有效的控制策略,该系统具备良好的自适应和自学习能力。

本文作者创新点:将模糊自适应控制应用于水下机器人运动控制,较好地解决了控制参数的调整问题,提高了系统的自

适应和自学习能力。

参考文献

- [1] Kazuo Ishii, Tamaki Ura. An adaptive neural-net controller system for an underwater vehicle. Control Engineering Practice. 8,2000:177-184
 - [2] 彭良, 卢迎春, 万磊, 孙俊岭. 水下智能潜器的神经网络运动控制, 海洋工程, 1995, 13(2):38-46
 - [3] Chia-Han Lin, Ling-Ling Wang. Intelligent collision avoidance by fuzzy logic control. Robotics and Autonomous System, 20 (1997): 61-83p
 - [3] 高宏岩, 王建辉. 在线自调整修正因子模糊控制方法和应用[J]. 微计算机信息, 2006 26(51): 83-84
 - [4] 孙洪淋, 孙伟, 石玉秋, 等. 基于参数自校正模糊控制器的机器人视觉伺服系统[J]. 微计算机信息, 2007, 23 (9-2):246-248
 - [5] 黄峰, 汪岳峰, 顾军, 等. 模糊参数自整定 PID 控制器的设计与仿真研究[J]. 光学精密工程, 2001, 12(2):235-239.
 - [6] 林先澄. AUV 作业系统信息仿真建构及软件实现[J]. 舰船电子工程, 2004, (10):70-74
- 作者简介: 赵云峰(1972~), 男, 汉族, 硕士研究生, 毕业于浙江大学, 工程师, 河南新郑人, 主要从事自动控制、智能仪器及光学测量研究; 宋立维(1962~), 男, 汉族, 工学学士, 高级工程师, 吉林农安人, 主要从事光电精密测控设备研究; 吴志勇(1965~), 男, 汉族, 研究员, 内蒙赤峰人, 主要从事智能检测及光电精密测控设备等方面研究。

Biography: ZHAO Yun-feng (1972 -), male, native place is xinzhen in He nan province, Master graduate student, engineer, the direction of research is autocontrol, intelligentized instrument and optical measure.

(130033 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 宋立维 吴志勇

(Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 130033 Changchun) ZHAO Yun-feng SONG Li-wei WU Zhi-yong
通讯地址: (130033 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 宋立维

(收稿日期:2009.02.03)(修稿日期:2009.03.05)

(上接第 300 页)

- [5] 李斌颖 编著. 天线原理与应用[M]. 兰州大学出版社, 1993; 122-131。

作者简介: 沈华勋(1970—), 男, 高级工程师, 1995 年毕业于电子科技大学电磁场与微波技术专业, 长期从事短波超短波天线及射频电路的研究与开发。

Biography: SHEN Hua-xun (1970 --), male, senior engineer, graduated from Department of Electromagnetic and Microwave Technology of University of Electronic Science and Technology of China (UESTC) in 1995, direction of mainly studies is high frequency (HF), Very High Frequency (VHF), Ultra-High Frequency (UHF) antenna and RF circuit design until now.

(730000 兰州大学信息科学与工程学院) 沈华勋 张金生

(610041 西南电子电信技术研究所) 陈宏

通讯地址: (610041 成都市 393 信箱 7C3#) 沈华勋

(收稿日期:2009.02.03)(修稿日期:2009.03.05)

欢迎投稿 欢迎订阅