



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106919048 A

(43)申请公布日 2017.07.04

(21)申请号 201710094816.9

(22)申请日 2017.02.22

(71)申请人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

(72)发明人 李晔 安力 姜言清 曹建 何佳雨 龚昊 郭宏达 孙叶义 马腾 王汝鹏

(51) Int. Cl. G05B 13/04(2006.01)

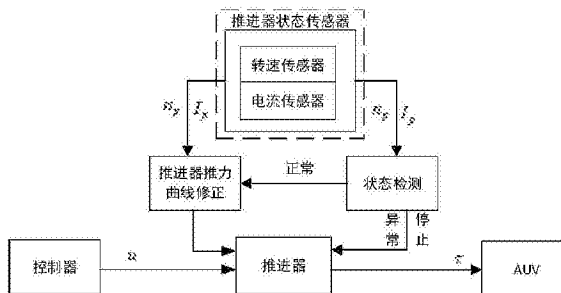
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种AUV推进器状态检测和推力曲线修正方法

(57)摘要

本发明提供的是一种AUV推进器状态检测和推力曲线修正方法。首先是螺旋桨敞水试验获得推进器相关曲线,包括控制信号推力曲线、转速推力曲线、电流推力曲线、转速电流曲线,以此为标准进行推进器状态检测及推力曲线修正。其次是推进器状态检测,实际工作时利用电流传感器和转速传感器实测电流和实测转速,以及测试环境下转速与电流关系进行推进器状态检测。最后是推进器推力曲线修正,当达到推进器推力曲线修正条件时,进行局部修正和全局修正判断,替换掉原控制信号下的推力值,拟合获得推力曲线。本发明可实现对推进器状态的实时检测,并能实现推进器推力曲线的快速修正。



1. 一种AUV推进器状态检测和推力曲线修正方法,其特征是:

(1)、取系列特征控制信号,测试推进器在每一控制信号下的推力,并通过转速传感器和电流传感器测得每一控制信号下的转速、电流信息,拟合获得获得控制信号推力曲线、转速推力曲线、电流推力曲线、转速电流曲线,以敞水实验时推力、转速、电流三者的相互关系作为推进器状态检测及推力曲线修正的标准;

(2)、实际工作时,电流传感器所测电流代入电流转速关系式获得应当转速,转速传感器实测转速与应当转速作差获得转速差异值,将转速差异值与预设的阈值进行比较,进行推进器状态检测,若超过所述阈值,则推进器转态异常、停止工作;

(3)、推进器正常状态下,将实测转速和实测电流代入转速推力曲线和电流推力关系曲线,求得应当推力与预设的阈值进行比较,若超过所述阈值,进行局部修正和全局修正判断,若为局部修正,将此控制信号下的推力值替换为应当推力,拟合获得推力曲线;若为全局修正,则取部分特征控制信号进行测试,将各控制信号下的推力值均替换为应当推力,并利用NURBS曲线进行拟合获得推力曲线。

2. 根据权利要求1所述的AUV推进器状态检测和推力曲线修正方法,其特征是所述拟合获得推力曲线是采用logistic模型进行拟合,S型曲线首尾平缓的变化趋势符合推进器特性,通过拟合曲线预测推进器零推力点,建立包含死区的推进器推力曲线。

3. 根据权利要求1或2所述的AUV推进器状态检测和推力曲线修正方法,其特征是NURBS曲线拟合所得推力曲线表示为:

$$T_f = f(u) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i u_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n w_i N_{i,k}(u)}$$

式中: u_i 是控制点矢量、即所选取的特征控制信号, w_i 是控制点相应的权因子, $N_{i,k}(u)$ 是k次B样条基函数。

一种AUV推进器状态检测和推力曲线修正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种水下航行器控制方法,具体地说是一种AUV推进器状态检测及推力曲线修正方法。

背景技术

[0002] 智能水下机器人(AUV)是船舶与海洋工程和机器人技术的学科交叉领域,在世界各国都得到了广泛的重视。AUV现已广泛应用于水域勘察、中继通讯等,并被应用于海底生物资源探查、矿产资源采样、海底地形勘测、沉物打捞、地震地热活动监测、海洋环境监测等。水下航行器在海洋资源开发以及水下安全中保障中具有非常重要的地位。

[0003] 目前现有的推进器直接故障检测方法,采用SISO结构建立每个推进器电压模型及电流模型,输入为推进器的控制信号,输出分别为推进器正常运转情况下的理论电压值及电流值。实际工作时,通过对比不同输入信号下的实测电流(或转速等信息)与正常电流,进行推进器故障诊断。

[0004] 由于推进器测试条件的限制如测试水池开阔程度、水深等,造成常规的螺旋桨敞水试验获得的结果与实际应用的效果差别较大,推进器推力曲线较测试时有所偏移或变形,造成常规推进器直接故障检测方法出现误判的几率大大增加。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种能实现对推进器状态的实时检测,并能实现推进器推力曲线的快速修正的AUV推进器状态检测和推力曲线修正方法。

[0006] 本发明的目的是这样实现的:

[0007] (1)、取系列特征控制信号,测试推进器在每一控制信号下的推力,并通过转速传感器和电流传感器测得每一控制信号下的转速、电流信息,拟合获得获得控制信号推力曲线、转速推力曲线、电流推力曲线、转速电流曲线,以敞水实验时推力、转速、电流三者的相互关系作为推进器状态检测及推力曲线修正的标准;

[0008] (2)、实际工作时,电流传感器所测电流代入电流转速关系式获得应当转速,转速传感器实测转速与应当转速作差获得转速差异值,将转速差异值与预设的阈值进行比较,进行推进器状态检测,若超过所述阈值,则推进器转态异常、停止工作;

[0009] (3)、推进器正常状态下,将实测转速和实测电流代入转速推力曲线和电流推力关系曲线,求得应当推力与预设的阈值进行比较,若超过所述阈值,进行局部修正和全局修正判断,若为局部修正,将此控制信号下的推力值替换为应当推力,拟合获得推力曲线;若为全局修正,则取部分特征控制信号进行测试,将各控制信号下的推力值均替换为应当推力,并利用NURBS曲线进行拟合获得推力曲线。

[0010] 本发明还可以包括:

[0011] 1、所述拟合获得推力曲线是采用logistic模型进行拟合,S型曲线首尾平缓的变化趋势符合推进器特性,通过拟合曲线预测推进器零推力点,建立包含死区的推进器推力

曲线。

[0012] 2、NURBS曲线拟合所得推力曲线表示为：

$$[0013] \quad T_f = f(u) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i u_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n w_i N_{i,k}(u)}$$

[0014] 式中： u_i 是控制点矢量、即所选取的特征控制信号， w_i 是控制点相应的权因子， $N_{i,k}(u)$ 是k次B样条基函数。

[0015] 本发明提出了一种推进器状态检测和推力曲线修正方法，可实现对推进器状态的实时检测，并能实现推进器推力曲线的快速修正。

[0016] 本发明包括推进器状态检测和推力曲线修正方法。首先是螺旋桨敞水试验获得推进器相关曲线，包括控制信号推力曲线、转速推力曲线、电流推力曲线、转速电流曲线，以此为标准进行推进器状态检测及推力曲线修正。其次是推进器状态检测，实际工作时利用电流传感器和转速传感器实测电流和实测转速，以及测试环境下转速与电流关系进行推进器状态检测。最后是推进器推力曲线修正，当达到推进器推力曲线修正条件时，进行局部修正和全局修正判断，替换掉原控制信号下的推力值，拟合获得推力曲线。本发明可实现对推进器状态的实时检测，并能实现推进器推力曲线的快速修正。

附图说明

[0017] 图1是本发明的系统结构图；

[0018] 图2是本发明的流程图。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图举例对本发明做更详细地描述：

[0020] 结合图1，本发明的系统结构主要包括包括控制器、推进器、AUV载体、推进器状态传感器（转速传感器和电流传感器）、推进器状态检测模块、推进器推力曲线修正模块。其中推进器检测模块根据电流传感器和转速传感器实测电流 I_p 和实测转速 n_p ，以及测试环境下转速与电流关系 $q(I)$ 进行推进器状态检测，若检测推进器状态异常，立即停止。推进器状态正常时，进行推进器推力曲线修正，若达到修正条件进入推进器推力曲线修正模块，根据实测电流 I_p 和实测转速 n_p ，以及测试环境下电流推力曲线 $h(I)$ 和转速推力曲线 $g(n)$ ，进行推进器推力曲线修正，替换掉原控制信号下的推力值，拟合获得推力曲线。推进器根据控制器输出 u 产生推力 τ 驱动AUV运动。

[0021] 本发明的详细实现方法为：

[0022] (1) 螺旋桨敞水试验获得推进器相关曲线，取系列特征控制信号 u ，测试推进器在每一控制信号下的推力 T_f ，并通过转速传感器和电流传感器测得每一控制信号下的转速 n 、电流 I 信息，获得控制信号推力散点图、转速推力散点图、电流推力散点图、转速电流散点图。

$$[0023] \quad T_f = f(u_1, u_2, u_3 \cdots u_m)$$

$$[0024] \quad T_f = g(n_1, n_2, n_3 \cdots n_m)$$

$$[0025] \quad T_f = h(I_1, I_2, I_3 \cdots I_m)$$

[0026] $n=q(I)$

[0027] 式中, $u_1 \cdots u_m$ 表示控制信号, $n_1 \cdots n_m, I_1 \cdots I_m$ 表示实测转速和实测电流。

[0028] 根据推进器自身特性以及散点图信息, 信号推力关系采用logistic模型进行曲线拟合。通过选择合适的参数 k, a, b, c , 可对推进器推力进行准确的建模, 通过拟合曲线预测推进器零推力点, 建立包含死区的推进器推力曲线。

$$[0029] \quad T_f = f(u) = \frac{k_1}{1 + e^{a_1 + b_1 u}} + c_1$$

[0030] 式中: k_1, a_1, b_1, c_1 为信号推力曲线相关参数

[0031] 利用Matlab拟合工具箱, 进行转速推力曲线、电流推力曲线、转速电流曲线拟合, 发现用四次多项式拟合比较合适。则其可表示为:

$$[0032] \quad T_f = g(n) = a_1 \times n^4 + a_2 \times n^3 + a_3 \times n^2 + a_4 \times n + a_5$$

$$[0033] \quad T_f = h(I) = m_1 \times I^4 + m_2 \times I^3 + m_3 \times I^2 + m_4 \times I + m_5$$

$$[0034] \quad n = q(I) = d_1 \times I^4 + d_2 \times I^3 + d_3 \times I^2 + d_4 \times I + d_5$$

[0035] 式中: a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 为转速推力曲线相关参数, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 为电流推力曲线相关参数, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 为转速电流曲线相关参数。

[0036] 以敞水实验时推力、转速、电流三者的相互关系作为推进器状态检测及推力曲线修正的标准。

[0037] (2) 实际工作时, 控制器输出控制信号 u 发送给推进器, 推进器以一定转速工作。推进器运转时, 状态传感器包括转速传感器和电流传感器测得推进器实时状态, 即实时转速 n_p 和实时电流 I_p , 将实时电流代入转速电流曲线 $q(I)$ 获得应当转速 n_r 。应当转速 n_r 与实测转速 n_p 作差获得转速差异值 n_e 与预设的阈值 n_d 进行比较, 进行推进器状态检测, 若超过阈值, 推进器转态异常, 停止工作。

$$[0038] \quad n_r = q(I_p)$$

$$[0039] \quad n_e = |n_r - n_p|$$

$$[0040] \quad i = \operatorname{sgn}(n_e - n_d) = \begin{cases} -1 \text{ 或 } 0 & \text{正常} \\ 1 & \text{异常} \end{cases}$$

[0041] 式中: n_e 为转速差异值, n_d 为预设的阈值。

[0042] 推进器正常状态下, 将实测转速 n_p 和实测电流 I_p 代入转速推力曲线 $g(n)$ 和电流推力曲线 $h(I)$, 求得应当推力 T_n 和 T_I 。

$$[0043] \quad T_n = g(n_p)$$

$$[0044] \quad T_I = h(I_p)$$

[0045] 控制器输出 u 代入 $f(u)$ 所得 T_m 与 $\frac{T_n + T_I}{2}$ 作差得 T_e , T_e 与预设的阈值 T_d 进行比较, 若超过阈值, 进行控制信号推力曲线 $f(u)$ 修正。

$$[0046] \quad T_e = \left| \frac{T_n + T_I}{2} - T_m \right|$$

$$[0047] \quad i = \operatorname{sgn}(T_e - T_d) = \begin{cases} -1 & \text{不修正} \\ 1 \text{ 或 } 0 & \text{修正} \end{cases}$$

[0048] 式中： T_e 为推力差异值， T_m 为控制器输出 u 代入 $f(u)$ 所得， T_d 为预设的阈值。

[0049] 进行局部修正和全局修正判断。

$$[0050] \quad i = \text{sgn}(T_e - T_d) = \begin{cases} -1 & \text{局部修正} \\ 1 \text{或} 0 & \text{全局修正} \end{cases}$$

[0051] 式中： T_e 为推力差异值， T_d 为预设的阈值。

[0052] 若为局部修正，将此控制信号下的推力值替换为应当推力，拟合获得推力曲线。

$$[0053] \quad T_f = f(u) = \frac{k_2}{1 + e^{a_2 + b_2 u}} + c_2$$

[0054] 式中： k_2, a_2, b_2, c_2 为logistic模型相关参数。

[0055] 若为全局修正，则取部分特征控制信号进行测试，将各控制信号下的推力值均替换为应当推力，并利用NURBS曲线进行拟合获得推力曲线。

$$[0056] \quad T_f = f(u) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i u_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n w_i N_{i,k}(u)}$$

[0057] 式中： u_i 是控制点矢量，即所选取的特征控制信号， w_i 是控制点相应的权因子。 $N_{i,k}(u)$ 是 k 次B样条基函数，是由节点矢量 $U = [u_0, u_1, \dots, u_{n+k+1}]$ 按照以下的公式定义：

$$[0058] \quad \begin{cases} N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & (\text{若 } u_i \leq u < u_{i+1}) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \\ N_{i,k}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+k} - u_i} N_{i,k-1}(u) + \frac{u_{i+k+1} - u}{u_{i+k+1} - u_{i+1}} N_{i+1,k-1}(u) \end{cases}$$

[0059] 式中： $N_{i,k}(u)$ 的双下标 k 表示次数，第一下标 i 表示序号。

[0060] 图2表述了本发明的系统流程图。具体实现步骤如下：

[0061] (1) 电流传感器实测电流 I_p 代入电流转速关系式 $q(I)$ 获得应当转速 n_r 。

[0062] (2) 实测转速 n_p 与应当转速 n_r 作差获得转速差异值 n_e 。

[0063] (3) 转速差异值 n_e 与预设的阈值 n_d 进行比较，进行推进器状态检测，若超过阈值，推进器转态异常，停止工作。

[0064] (4) 推进器正常状态下，将实时转速 n_p 和实时电流 I_p 代入转速推力曲线 $g(n)$ 和电流推力关系曲线 $h(I)$ ，求得应当推力 T_n 和 T_I 。

[0065] (5) 控制器输出 u 代入 $f(u)$ 所得 T_m 与 $\frac{T_I + T_n}{2}$ 作差得 T_e ， T_e 与预设的阈值 T_d 进行比较，若超过阈值，进行控制信号推力曲线 $f(u)$ 修正。

[0066] (6) T_e 与预设的阈值 T_d 进行比较，若超过阈值，进行全局修正，否则进行局部修正。

[0067] (7) 若为局部修正，将此控制信号下的推力值替换为应当推力，拟合获得推力曲线。

$$[0068] \quad T_f = f(u) = \frac{k_2}{1 + e^{a_2 + b_2 u}} + c_2$$

[0069] (8) 若为全局修正，则取部分特征控制信号进行测试，将各控制信号下的推力值均替换为应当推力，并利用NURBS曲线进行拟合获得推力曲线。

$$[0070] \quad T_f = f(u) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i u_i N_{i,k}(u)}{\sum_{i=0}^n w_i N_{i,k}(u)}。$$

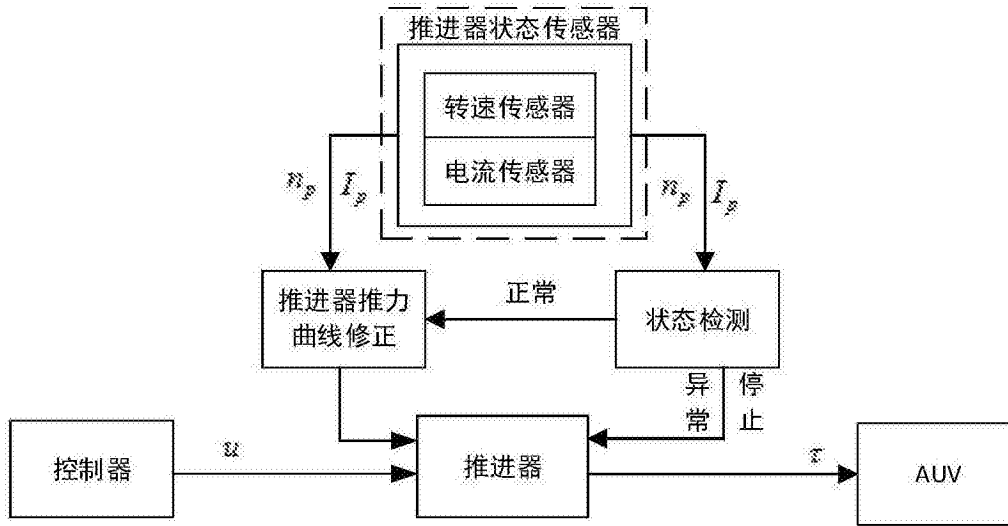


图1

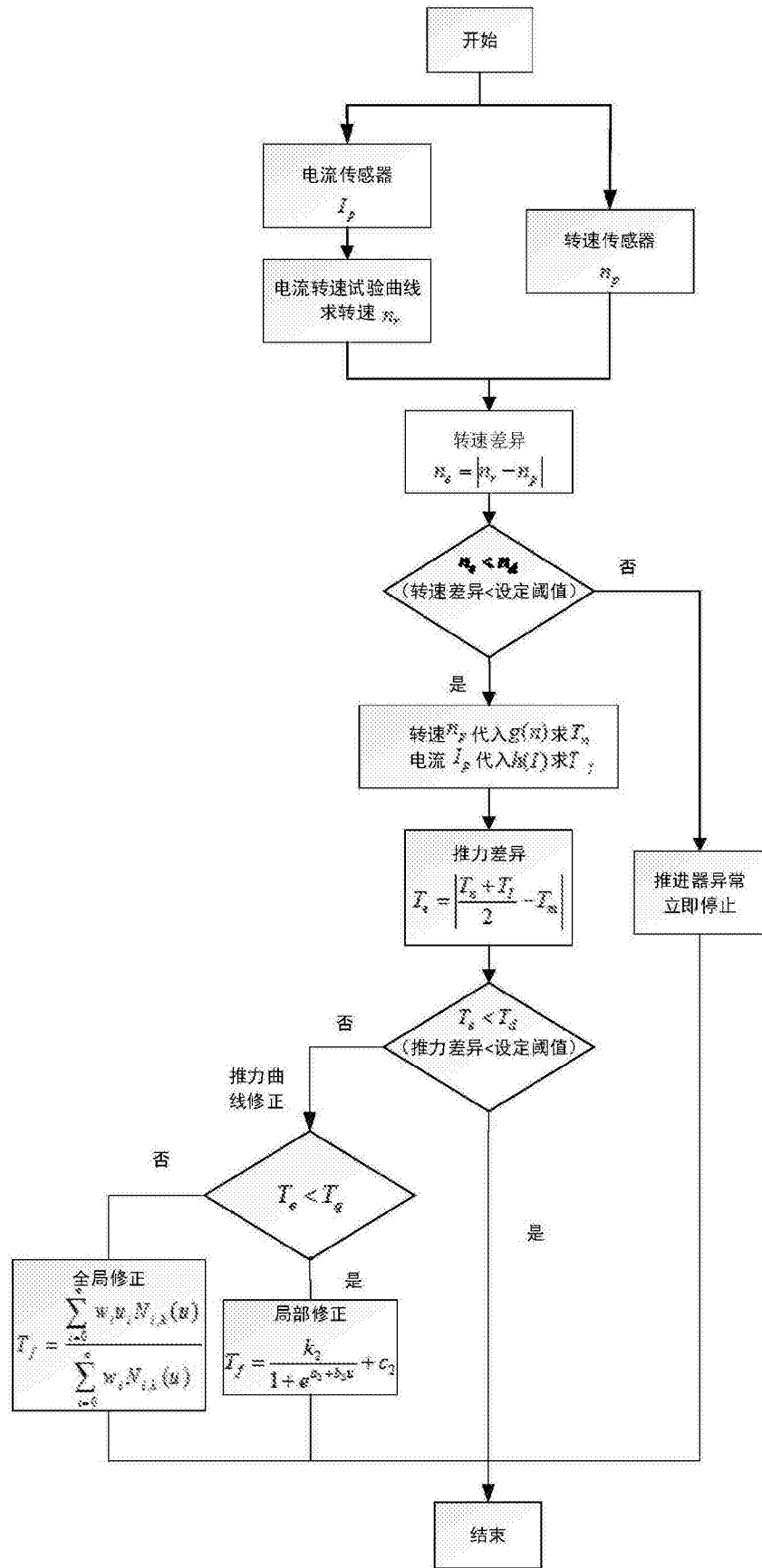


图2