

1. 一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征在于所述方法具体过程为:

步骤一、将海洋机器人的期望艏向角 ψ_d 输入跟踪微分器中, 获得跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的过渡过程 v_1 ;

步骤二、初始化控制舵角 δ ;

步骤三、获取海洋机器人当前实际艏向角 ψ 及当前的实际航速 U , 并将 ψ 、 δ 和 U 输入到线性扩张状态观测器中, 获得潜体艏摇系统的扰动补偿参数 b 及潜体艏摇系统中的三个状态变量;

所述潜体艏摇系统中的三个状态变量为: 潜体艏向 z_1 、转向加速度 z_2 及潜体艏摇系统的扰动 z_3 ;

所述步骤三中的线性扩张状态观测器, 如下式:

$$\begin{cases} \dot{v} = K_{Fal} Fal(e_{Fal}, a_{Fal}, \delta_{Fal}) \\ e_1 = z_1 - \psi \\ \dot{z}_1 = z_2 - \beta_{01} e_1 \\ \dot{z}_2 = z_3 - \beta_{02} e_1 + b_0 v^2 \delta \\ \dot{z}_3 = -\beta_{03} e_1 \end{cases}$$

其中, β_{01} 、 β_{02} 、 β_{03} 为线性扩张状态观测器的增益系数, z_i , $i=1, 2, 3$, z_i 是线性扩张状态观测器的状态变量, e_1 、 b_0 是中间变量, \dot{v} 是 v 的导数, v 是平滑处理后的实际航速 U , K_{Fal} 是影响 v 对 U 跟踪速度的比例系数, $Fal()$ 是函数滤波器, δ_{Fal} 为滤波因子, a_{Fal} 为滤波设计参数, e_{Fal} 是中间变量, 扰动补偿参数 $b=b_0 v^2$;

步骤四、将步骤一和步骤三获得的 z_1 、 z_2 、 z_3 、 b 、 v_1 输入到基于准则函数的自适应状态误差反馈中, 获得所需控制舵角 δ' ;

基于准则函数的自适应状态误差反馈, 如下式:

$$\begin{cases} \delta_0 = \frac{\Delta t [v_1 - z_1(t) - z_2(t)\Delta t] - 2\lambda z_2(t)}{\frac{1}{2}\Delta t^3 + 2\lambda\Delta t} \\ \delta' = \frac{\delta_0 - z_3}{b_0 v^2} \end{cases}$$

其中, δ' 是所需控制舵角, δ_0 是中间变量, $\Delta t > 0$ 是间隔时间, $z_i(t)$ 是 t 时刻的 z_i , λ 是权重系数;

步骤五、通过主控计算机将步骤四获得的所需控制舵角 δ' 指令下发至舵机的操纵装置上, 从而获得所需控制舵角 δ' 对应的海洋机器人实际艏向角 ψ' , 将 ψ' 与期望艏向角 ψ_d 比较, 若 ψ' 与 ψ_d 的误差在预设误差内则结束艏向控制, 若 ψ' 与 ψ_d 的误差不在预设误差内, 则将 δ' 的赋值给 δ , ψ' 赋值给 ψ 并返回步骤三, 直至 ψ' 与 ψ_d 的误差在预设误差内。

2. 根据权利要求1所述的一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征在于: 所述步骤一中的跟踪微分器, 如下式:

$$\begin{cases} fh = fhan(v_1(t) - \psi_d(t), v_2(t), r, h_0) \\ v_1(t+1) = v_1(t) + hv_2(t) \\ v_2(t+1) = v_2(t) + fh \end{cases}$$

其中, $v_1(t)$ 是跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的 t 时刻的过渡过程, $v_1(t+1)$ 是跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的 $t+1$ 时刻的过渡过程, $v_2(t)$ 是 $v_1(t)$ 的微分信号, $\psi_d(t)$ 为 t 时刻潜体的期望艏向, r 称为速度因子, h 为采样步长, fh 是中间变量, h_0 称为滤波因子, $fhan(\cdot)$ 称为最速控制综合函数。

3. 根据权利要求2所述的一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征

$$\text{在于: } fhan(v_1(t) - \psi_d(t), v_2(t), r, h_0) = - \begin{cases} r \text{sign}(a), |a| > d \\ r \frac{a}{d}, |a| \leq d \end{cases}$$

其中, d, a 是中间变量。

4. 根据权利要求3所述的一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征

$$\text{在于: } \begin{cases} d = rh_0 \\ a = \begin{cases} v_2(t) + \frac{(a_0 - d)}{2} \text{sign}(y), |y| > d_0 \\ v_2(t) + \frac{y}{h_0}, |y| \leq d_0 \end{cases} \end{cases}$$

其中, d_0, a_0, y 是中间变量。

5. 根据权利要求4所述的一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征

$$\text{在于: } \begin{cases} d_0 = h_0 d \\ y = v_1(t) - \psi_d(t) + h_0 v_2(t) \\ a_0 = \sqrt{d^2 + 8r|r|} \end{cases}$$

6. 根据权利要求5所述的一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征
在于: $e_{Fal} = U - v$ 。

7. 根据权利要求6所述的一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征

$$\text{在于: } b_0 = \frac{\rho SCL}{2(I + \lambda_{66})};$$

其中, C 为舵板的升力系数, L 为舵板到潜体重心的距离, I 表示潜体绕重心轴的转动惯量, λ_{66} 为潜体艏摇方向的附加转动惯量系数, ρ 为海水密度, S 为舵板面积。

8. 根据权利要求7所述的一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法, 其特征
在于: $\beta_{01} = 3\omega, \beta_{02} = 3\omega^2, \beta_{03} = \omega^3$;

其中, ω 是增益设计参数。

一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及机器人运动控制领域,特别涉及一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法。

背景技术

[0002] 海洋机器人种类非常多,例如无人艇、波浪滑翔器、水下机器人等。对于海洋机器人艏向运动控制问题,其艏向控制过程大部分是依靠舵机进行驱动。对于这类艏向控制问题,已经有多种控制算法,例如经典PID控制、自抗扰控制、滑模控制等。

[0003] 公开号为CN 109828462A的发明提出了一种波浪滑翔器变航速下自适应艏向控制器及控制方法,通过波浪滑翔器艏向响应模型和相似原理得到扩张状态观测器中的扰动补偿参数 b ,然而利用相似原理,会导致参数的求解过程复杂,艏向控制准确性差的问题。公开号为CN 114815595A的发明公开了一种基于ADRC自抗扰控制的电动舵机控制系统及控制方法,这种方法提到了利用微分跟踪器改造“非线性PID”方法。然而波浪滑翔器这类海洋机器人具备特殊的推进机理,其航速是不可控的,这种方法会导致航艏控制振荡或发散,从而导致航艏控制准确性差的问题。公开号为CN 104267743B的发明提出了一种采用自抗扰控制技术的船载摄像稳定平台控制方法,然而这种方法设计的扩张状态观测器仅适用于摄像稳定平台,并不适应于海洋机器人艏向控制方法。综上,传统航行器上的艏向控制器不能保证在不同航速下均保持良好的艏向控制性能,甚至会造成控制振荡或发散,从而导致航艏控制准确性差的问题,同时还存在航艏控制参数求解复杂的问题。

发明内容

[0004] 本发明目的是为了解决现有艏向控制方法还存在航艏控制准确性差的、航艏控制参数求解复杂的问题,而提出了一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法。

[0005] 一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法具体过程为:

[0006] 步骤一、将海洋机器人的期望艏向角 ψ_d 输入跟踪微分器中,获得跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的过渡过程 v_1 ;

[0007] 步骤二、初始化控制舵角 δ ;

[0008] 步骤三、获取海洋机器人当前实际艏向角 ψ 及当前的实际航速 U ,并将 ψ 、 δ 和 U 输入到线性扩张状态观测器中,获得潜体艏摇系统的扰动补偿参数 b 及潜体艏摇系统中的三个状态变量;

[0009] 所述潜体艏摇系统中的三个状态变量为:潜体艏向 z_1 、转向加速度 z_2 及潜体艏摇系统的扰动 z_3 ;

[0010] 步骤四、将步骤一和步骤三获得的 z_1 、 z_2 、 z_3 、 b 、 v_1 输入到基于准则函数的自适应状态误差反馈中,获得所需控制舵角 δ' ;

[0011] 步骤五、通过主控计算机将步骤四获得的所需控制舵角 δ' 指令下发至舵机的操纵装置上,从而获得所需控制舵角 δ' 对应的海洋机器人实际艏向角 ψ' ,将 ψ' 与期望艏向角 ψ_d

比较,若 ψ' 与 ψ_d 的误差在预设误差内则结束艏向控制,若 ψ' 与 ψ_d 的误差不在预设误差内,则将 δ' 的赋值给 δ , ψ' 赋值给 ψ 并返回步骤三,直至 ψ' 与 ψ_d 的误差在预设误差内。

[0012] 进一步地,所述步骤一中的跟踪微分器,如下式:

$$[0013] \quad \begin{cases} fh = fhan(v_1(t) - \psi_d(t), v_2(t), r, h_0) \\ v_1(t+1) = v_1(t) + hv_2(t) \\ v_2(t+1) = v_2(t) + hfh \end{cases}$$

[0014] 其中, $v_1(t)$ 是跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的t时刻的过渡过程, $v_1(t+1)$ 是跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的t+1时刻的过渡过程, $v_2(t)$ 是 $v_1(t)$ 的微分信号, $\psi_d(t)$ 为t时刻潜体的期望艏向, r 称为速度因子, h 为采样步长, fh 是中间变量, h_0 称为滤波因子, $fhan(\cdot)$ 称为最速控制综合函数。

$$[0015] \quad \text{进一步地, } fhan(v_1(t) - \psi_d(t), v_2(t), r, h_0) = - \begin{cases} rsign(a), |a| > d \\ r \frac{a}{d}, |a| \leq d \end{cases}$$

[0016] 其中, d 、 a 是中间变量。

$$[0017] \quad \text{进一步地, } \begin{cases} d = rh_0 \\ a = \begin{cases} v_2(t) + \frac{(a_0 - d)}{2} sign(y), |y| > d_0 \\ v_2(t) + \frac{y}{h_0}, |y| \leq d_0 \end{cases} \end{cases}$$

[0018] 其中, d_0 、 a_0 、 y 是中间变量。

$$[0019] \quad \text{进一步地, } \begin{cases} d_0 = h_0 d \\ y = v_1(t) - \psi_d(t) + h_0 v_2(t) \\ a_0 = \sqrt{d^2 + 8r|r|} \end{cases}。$$

[0020] 进一步地,所述步骤三中的线性扩张状态器,如下式:

$$[0021] \quad \begin{cases} \dot{v} = K_{Fal} Fal(e_{Fal}, a_{Fal}, \delta_{Fal}) \\ e_1 = z_1 - \psi \\ \dot{z}_1 = z_2 - \beta_{01} e_1 \\ \dot{z}_2 = z_3 - \beta_{02} e_1 + b_0 v^2 \delta \\ \dot{z}_3 = -\beta_{03} e_1 \end{cases}$$

[0022] 其中, β_{01} 、 β_{02} 、 β_{03} 为线性扩张状态观测器的增益系数, z_i , $i=1, 2, 3$, z_i 是线性扩张状态观测器的状态变量, e_1 、 b_0 是中间变量, \dot{v} 是 v 的导数, v 是平滑处理后的实际航速 U , K_{Fal} 是影响 v 对 U 跟踪速度的比例系数, $Fal(\cdot)$ 是函数滤波器, δ_{Fal} 为滤波因子, a_{Fal} 为滤波设计参数, e_{Fal} 是中间变量,扰动补偿参数 $b=b_0 v^2$ 。

[0023] 进一步地, $e_{Fal} = U - v$ 。

$$[0024] \quad \text{进一步地, } b_0 = \frac{\rho SCL}{2(I + \lambda_{66})};$$

[0025] 其中,C为舵板的升力系数,L为舵板到潜体重心的距离,I表示潜体绕重心轴的转动惯量, λ_{66} 为潜体艏摇方向的附加转动惯量系数, ρ 为海水密度,S为舵板面积。

[0026] 进一步地, $\beta_{01}=3\omega$, $\beta_{02}=3\omega^2$, $\beta_{03}=\omega^3$;

[0027] 其中, ω 是增益设计参数。

[0028] 进一步地,所述步骤四中的基于准则函数的自适应状态误差反馈,如下式:

$$[0029] \begin{cases} \delta_0 = \frac{\Delta t [v_1 - z_1(t) - z_2(t)\Delta t] - 2\lambda z_2(t)}{\frac{1}{2}\Delta t^3 + 2\lambda\Delta t} \\ \delta' = \frac{\delta_0 - z_3}{b_0 v^2} \end{cases}$$

[0030] 其中, δ' 是所需控制舵角, δ_0 是中间变量, $\Delta t > 0$ 是间隔时间, $z_i(t)$ 是t时刻的 z_i , λ 是权重系数。

[0031] 本发明的有益效果为:

[0032] 本发明提供了一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法。本发明设计基于速度信息的改进扩张状态观测器,实现对艏向系统状态信息与扰动信息的观测,本发明根据波浪滑翔器运动数学模型,在潜体艏摇自由度上,潜体转艏加速度运动响应与舵角的关系公式,得到扰动补偿参数b,其中各项参数均可方便的通过水动力仿真计算得到,使航艏控制参数求解更简单。之后本发明还提出了航速预处理方法和基于准则函数的自适应状态误差反馈,使得控制器参数能随着航速变化而自适应调节,使不同航速下的海洋机器人控制器均具备自适应的调整能力,使海洋机器人不同航速下保证稳定的艏向控制性能,从而提高了航艏控制准确性。

附图说明

[0033] 图1为本发明的结构示意图;

[0034] 图2为本发明流程图。

具体实施方式

[0035] 波浪滑翔器是一种特殊的海洋机器人,其由浮体、潜体和系统三部分共同组成。其中浮体和潜体由系统连接。只有潜体艏向可以由潜体上的舵机进行直接控制。浮体的艏向及整体的航向控制均是在潜体的拖拽驱动下完成的。所述波浪滑翔器安装有主控计算机、航速传感器、艏向传感器、舵机等装置。其中,波浪滑翔器的航速U由航速传感器得到,潜体艏向角 ψ 由艏向传感器得到,主控计算机得到期望舵角 ψ_d 后经过计算处理得到舵角 δ 并下发指令给舵机执行操舵指令。

[0036] 波浪滑翔器利用其新颖的机械结构捕获海洋中波浪升沉的动能,并将其转化为水平方向的推力实现自身的航行。波浪滑翔器潜体的艏向控制问题与海洋机器人的艏向控制问题基本类似,因此本发明以波浪滑翔器为对象研究其潜体艏向控制问题。对于波浪滑翔器而言,其依靠波浪能提供推力,在不同海况条件下波浪滑翔器的航速不同,并且受海洋环境影响较大,如果仍然采用传统航行器上的艏向控制器,则不能保证在不同航速下均保持良好的艏向控制性能,甚至会造成控制振荡或发散。接下来结合具体实施方式说明本发明。

[0037] 具体实施方式一:如图1-2所示,本实施方式一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法具体过程为:

[0038] 步骤一、将海洋机器人的期望艏向角 ψ_d 输入跟踪微分器中,获得跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的过渡过程 v_1 及 v_1 的微分信号 v_2 ;

[0039] 所述跟踪微分器,如下式:

$$[0040] \begin{cases} fh = fhan(v_1(t) - \psi_d(t), v_2(t), r, h_0) \\ v_1(t+1) = v_1(t) + hv_2(t) \\ v_2(t+1) = v_2(t) + hfh \end{cases} \quad (1)$$

[0041] 其中, $fhan(\cdot)$ 称为最速控制综合函数,它的定义为:

$$[0042] \begin{cases} d = rh_0 \\ d_0 = h_0d \\ y = v_1(t) - \psi_d(t) + h_0v_2(t) \\ a_0 = \sqrt{d^2 + 8r|r|} \\ a = \begin{cases} v_2(t) + \frac{(a_0 - d)}{2} \text{sign}(y), |y| > d_0 \\ v_2(t) + \frac{y}{h_0}, |y| \leq d_0 \end{cases} \\ fhan(v_1(t) - \psi_d(t), v_2(t), r, h_0) = - \begin{cases} r \text{sign}(a), |a| > d \\ r \frac{a}{d}, |a| \leq d \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

[0043] 其中, $\psi_d(t)$ 为t时刻潜体的期望艏向; r 称为速度因子,其越大跟踪微分器跟踪速度越快,但过大会对噪声信号也进行跟踪导致不平滑的结果; h_0 称为滤波因子,其越大滤波强度越大,但输出信号滞后也将增大; h 为采样步长, d 、 d_0 、 a_0 、 a 、 y 、 fh 是中间变量, $v_1(t)$ 是跟踪微分器为期望艏向角 ψ_d 安排的t时刻的过渡过程, $v_2(t)$ 是 $v_1(t)$ 的微分信号, $\text{sign}(\cdot)$ 是符号函数。

[0044] 步骤二、设定控制舵角 δ ,并将 δ 初始化为0。

[0045] 步骤三、获取海洋机器人当前实际艏向角 ψ 、控制舵角 δ 及当前的实际航速 U ,并将 ψ 、 δ 和 U 输入到改进线性扩张状态观测器中,获得平滑处理后的航速 v 、潜体艏摇系统的扰动补偿参数 b 及潜体艏摇系统中的三个状态变量即潜体艏向 z_1 、转向加速度 z_2 、潜体艏摇系统的扰动 z_3 ;

[0046] 所述改进线性扩张状态观测器,通过以下方式获得:

[0047] 步骤三一、对海洋机器人实际航速 U 进行平滑处理,获得平滑后的实际航速 v :

$$[0048] \begin{cases} \dot{v} = K_{Fal} Fal(e_{Fal}, a_{Fal}, \delta_{Fal}) \\ e_{Fal} = U - v \end{cases} \quad (3)$$

$$[0049] \quad Fal(e_{Fal}, a_{Fal}, \delta_{Fal}) = \begin{cases} |e_{Fal}|^{a_{Fal}} \operatorname{sgn}(e_{Fal}), & |e_{Fal}| > \delta_{Fal} \\ \frac{e_{Fal}}{\delta_{Fal}^{1-a_{Fal}}}, & |e_{Fal}| \leq \delta_{Fal} \end{cases} \quad (4)$$

[0050] 其中, a_{Fal} 为滤波设计参数, 是0到1之间的常数, K_{Fal} 为影响 v 对 U 跟踪速度的比例系数, δ_{Fal} 为滤波因子, \dot{v} 是 v 的导数, $Fal()$ 是函数滤波器, e_{Fal} 是中间变量;

[0051] 步骤三二、获取海洋机器人的基本参数, 利用海洋机器人的基本参数构建潜体艏摇系统, 具体为:

[0052] 所述海洋机器人的基本参数包括: 舵板面积 S , 舵板的升力系数 C , 舵板到机器人重心的距离 L , 机器人绕重心轴的转动惯量 I , 机器人艏摇方向的附加转动惯量系数 λ_{66} ;

[0053] 依据波浪滑翔器运动数学模型, 在潜体艏摇自由度上, 潜体转舵加速度运动响应与舵角的关系如下:

$$[0054] \quad \dot{r}_1 = \frac{\rho S U^2 C L}{2(I + \lambda_{66})} \delta + f(r_1, w) \quad (5)$$

[0055] 其中, r_1 为潜体转舵角速度, δ 为舵角, ρ 为海水密度, S 为舵板面积, U 为潜体当前的实际航速, C 为舵板的升力系数, L 为舵板到潜体重心的距离, I 表示潜体绕重心轴的转动惯量, λ_{66} 为潜体艏摇方向的附加转动惯量系数, w 为系统受到的干扰, $f(r_1, w)$ 为包含系统干扰在内的系统中其他部分函数。

[0056] 定义:

$$[0057] \quad b_0 = \frac{\rho S C L}{2(I + \lambda_{66})} \quad (6)$$

[0058] 即扰动补偿参数为 $b = b_0 v^2$ 。

[0059] 则潜体艏摇系统可表示为:

$$[0060] \quad \begin{cases} \dot{\psi} = r_1 \\ b = b_0 v^2 \\ \dot{r}_1 = b \delta + f(r_1, w) \\ y_1 = \psi \end{cases} \quad (7)$$

[0061] 其中, b_0 、 y_1 是中间变量;

[0062] 步骤三三、利用步骤三一的平滑处理过程和步骤三二获得潜体艏摇系统构建改进线性扩张状态观测器:

$$[0063] \quad \begin{cases} \dot{v} = K_{Fal} Fal(e_{Fal}, a_{Fal}, \delta_{Fal}) \\ e_{Fal} = U - v \\ e_1 = z_1 - \psi \\ \dot{z}_1 = z_2 - \beta_{01} e_1 \\ \dot{z}_2 = z_3 - \beta_{02} e_1 + b_0 v^2 \delta \\ \dot{z}_3 = -\beta_{03} e_1 \end{cases} \quad (8)$$

[0064] 其中, β_{01} 、 β_{02} 、 β_{03} 为线性扩张状态观测器的增益系数 ($\beta_{01} = 3\omega$, $\beta_{02} = 3\omega^2$, $\beta_{03} =$

ω^3 , 其中 ω 为增益设计参数), z_i ($i=1, 2, 3$) 为线性扩张状态观测器的各状态变量, e_1 是中间变量。

[0065] 步骤四、将步骤三获得的 z_1, z_2, z_3, b, v, v_1 输入到基于准则函数的自适应状态误差反馈中, 获得所需控制舵角 δ' ;

[0066] 所述基于准则函数的自适应状态误差反馈, 通过以下方式获得:

[0067] 步骤四一、利用改进线性扩张状态观测器, 得到二阶串级受控系统:

$$[0068] \quad \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \delta' \\ y = x_1 \end{cases} \quad (9)$$

[0069] 其中, $x_1 = \psi$ 是实际艏向角, $x_2 = r_1$ 是潜体转艏角速度;

[0070] 步骤四二、对 x_1 设计如下准则函数:

$$[0071] \quad J = [x_1^* - x_1(t + \Delta t)]^2 + \lambda x_2^2(t + \Delta t) \quad (10)$$

[0072] 其中, x_1^* 表示 x_1 的期望值, λ 为权重系数, $\Delta t > 0$ 为间隔时间。

[0073] 步骤四三、对步骤四二获得的准则函数进行泰勒级数展开, 然后仅保留至二阶导数项, 对准则函数中 δ' 求偏导数, 获得偏导数为零时的准则函数;

$$[0074] \quad \text{泰勒级数展开公式为: } x_1(t + \Delta t) = x_1(t) + \dot{x}_1(t)\Delta t + \frac{1}{2}\ddot{x}_1(t)\Delta t^2 + \dots + R$$

[0075] 其中, R 是泰勒级数展开余项;

[0076] 仅保留至二阶导数项, 对准则函数中 δ' 求偏导数, 偏导数为零时取得极小值为:

$$[0077] \quad \delta_0 = \frac{\Delta t [v_1 - z_1(t) - z_2(t)\Delta t] - 2\lambda z_2(t)}{\frac{1}{2}\Delta t^3 + 2\lambda\Delta t} \quad (11)$$

[0078] 其中, $z_i(t)$ 是 t 时刻的 z_i 。

[0079] 步骤四四、对系统的控制量进行扰动补偿, 如下式:

$$[0080] \quad \delta' = \frac{\delta_0 - z_3}{b_0 v^2} \quad (12)$$

[0081] 步骤四五、利用步骤四四获得的扰动补偿和步骤四三获得的偏导数为零时的准则函数, 获取基于准则函数的自适应状态误差反馈, 如下式:

$$[0082] \quad \begin{cases} \delta_0 = \frac{\Delta t [v_1 - z_1(t) - z_2(t)\Delta t] - 2\lambda z_2(t)}{\frac{1}{2}\Delta t^3 + 2\lambda\Delta t} \\ \delta' = \frac{\delta_0 - z_3}{b_0 v^2} \end{cases} \quad (13)$$

[0083] 步骤五、通过主控计算机将步骤四获得的所需控制舵角 δ' 指令下发至舵机的操纵装置上, 从而获得所需控制舵角 δ' 对应的海洋机器人实际艏向角 ψ' , 将 ψ' 与期望艏向角 ψ_d 比较, 若 ψ' 与 ψ_d 的误差在预设误差内则结束艏向控制, 若 ψ' 与 ψ_d 的误差不在预设误差内, 则将 δ' 的赋值给 δ , ψ' 赋值给 ψ 并返回步骤三, 直至 ψ' 与 ψ_d 的误差在预设误差内。

[0084] 当前时刻结束艏向控制后,将当前时刻的控制舵角、期望艏向角作为下一时刻的控制舵角、期望艏向角的初始值,进行下一时刻的艏向角控制。

[0085] 如图1本发明中一种海洋机器人的动态补偿型自抗扰艏向控制方法结构示意图。所述改进自抗扰控制器包括:跟踪微分器、改进线性扩张状态观测器和基于准则函数的自适应状态误差反馈三部分。其中,改进线性扩张状态观测器中的扰动补偿参数 b 是根据潜体的航速变化影响的时变系数 $b=b_0v^2$;改进二阶系统非线性状态误差反馈中增加了扰动补偿,使得被控系统转化为二阶串级积分系统,基于泰勒级数展开设计了相应的准则函数,推导出了基于准则函数的自适应状态误差反馈。

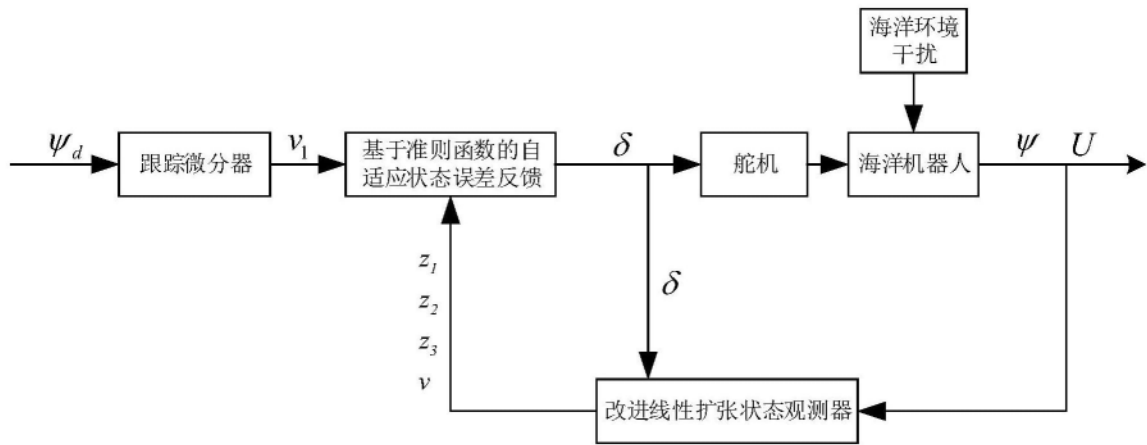


图1

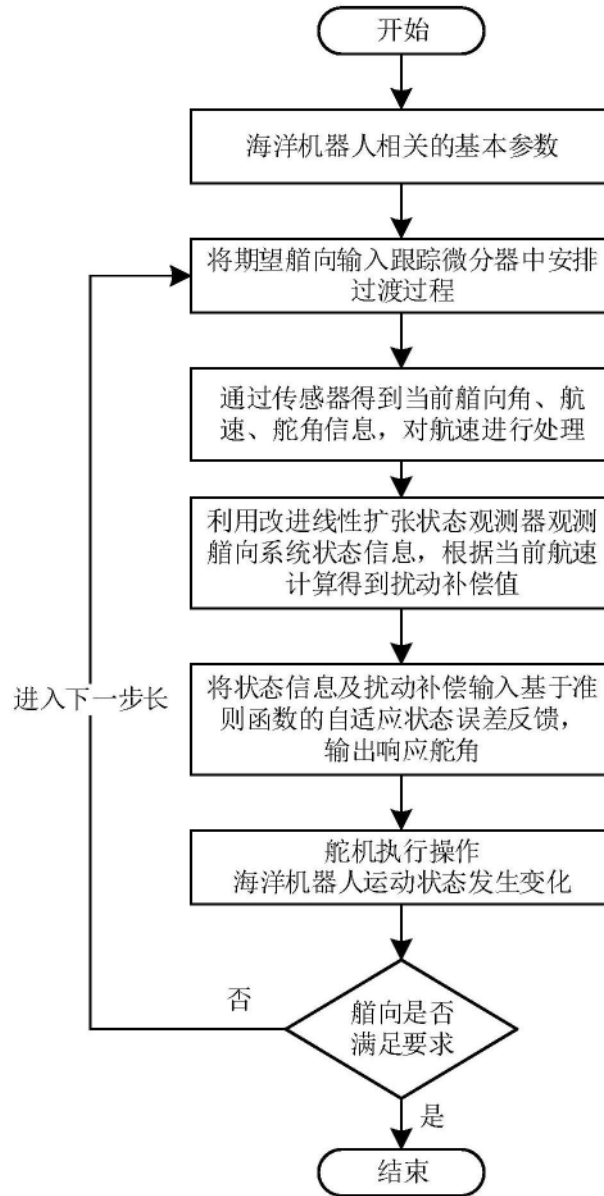


图2