



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109933080 A

(43)申请公布日 2019.06.25

(21)申请号 201711345449.1

(22)申请日 2017.12.15

(71)申请人 中国科学院沈阳自动化研究所  
地址 110016 辽宁省沈阳市东陵区南塔街  
114号

(72)发明人 刘铁军 姜志斌 尹远 李吉旭

(74)专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 王倩

(51) Int. Cl.  
G05D 1/10(2006.01)

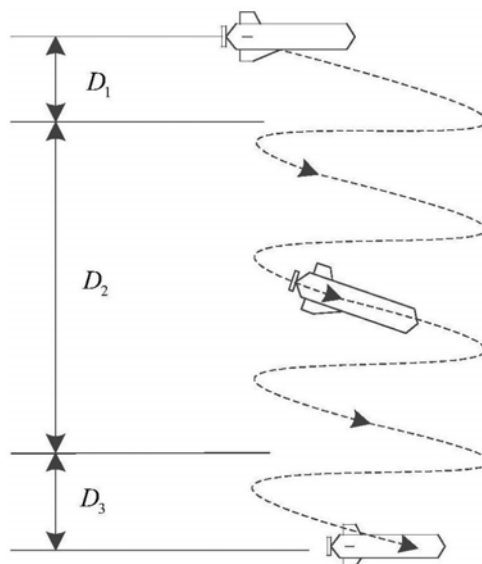
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,实现UUV在各海况条件下从水面漂浮到完全浸没、低功耗下潜和下潜预先制动共三个阶段的下潜运动以及上浮启动、低功耗上浮和上浮预先制动共三个阶段的上浮运动。本发明包括下潜运动控制和上浮运动控制;与以往的潜浮控制方法比较,本方法具有更好的适应性和鲁棒性,更能适应外界环境的变化,提高了水下机器人的潜浮控制能力。本方法通用性强,可适用于各种水下机器人。



1. 一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,其特征在于,包括上浮运动控制和下潜运动控制;

所述下潜运动控制包括从水面漂浮到完全浸没控制、低功耗下潜和预先制动控制;所述从水面漂浮到完全浸没控制采用垂向速度闭环控制、纵倾角闭环控制;所述低功耗下潜控制采用固定活塞位置控制;所述下潜预先制动控制采用深度闭环控制、纵倾角闭环控制;

所述上浮运动控制包括上浮启动控制、低功耗上浮控制和预先制动控制所述上浮启动控制采用垂向速度闭环控制、纵倾角闭环控制;所述低功耗上浮控制采用固定活塞位置控制;所述上浮预先制动控制采用深度闭环控制、纵倾角闭环控制。

2. 根据权利要求1所述的一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,其特征在于,所述从水面漂浮到完全浸没控制的方法如下:

$$T_v = K_{v_p}(v_r - v) + K_{v_d}(v_r - v)/t + K_{v_i} \int_0^t (v_r - v)$$

$$\tau_p = K_{p_p}(p_r - p) + K_{p_d}(p_r - p) + K_{p_i} \int_0^t (p_r - p)$$

其中, $T_v$ 是目标垂向力, $\tau_p$ 是目标纵倾力矩; $K_{*p}$ 、 $K_{*d}$ 和 $K_{*i}$ 分别是比例、微分和积分项系数,\*为v或p; $v_r$ 和 $p_r$ 分别是UUV的目标垂向速度和目标纵倾角; $v$ 和 $p$ 分别是UUV的实际垂向速度和实际纵倾角。

3. 根据权利要求1所述的一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,其特征在于,所述低功耗下潜控制的方法如下:

$$F_- = \rho * g * \pi * D^2 / 4 * (Z - Z_0)$$

其中, $F_-$ 是垂向负浮力; $\rho$ 是当前试验水域的水密度; $g$ 是重力加速度, $\pi$ 为圆周率; $D$ 为圆筒型浮力调节装置的内直径; $Z$ 为圆筒型浮力调节装置内的活塞位置,且 $Z < Z_0$ ; $Z_0$ 为人为设定的圆筒型浮力调节装置内的浮力为零的活塞位置。

4. 根据权利要求1所述的一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,其特征在于,所述下潜预先制动控制的方法如下:

$$T_d = K_{d_p}(d_r - d) + K_{d_d}(d_r - d)/t + K_{d_i} \int_0^t (d_r - d)$$

$$\tau_p = K_{p_p}(p_r - p) + K_{p_d}(p_r - p) + K_{p_i} \int_0^t (p_r - p)$$

其中, $T_d$ 是目标垂向力, $\tau_p$ 是目标纵倾力矩; $K_{*p}$ 、 $K_{*d}$ 和 $K_{*i}$ 分别是比例、微分和积分项系数,\*为d或p; $d_r$ 和 $p_r$ 分别是UUV的目标深度和目标纵倾角; $d$ 和 $p$ 分别是UUV的实际深度和实际纵倾角。

5. 根据权利要求1所述的一种具有浮力调节功能的水下机器人(UUV)潜浮运动控制方法,其特征在于,所述上浮启动控制的方法如下:

$$T_v = K_{v_p}(v_r - v) + K_{v_d}(v_r - v)/t + K_{v_i} \int_0^t (v_r - v)$$

$$\tau_p = K_{p_p}(p_r - p) + K_{p_d}(p_r - p) + K_{p_i} \int_0^t (p_r - p)$$

其中, $T_v$ 是目标垂向力, $\tau_p$ 是目标纵倾力矩; $K_{*p}$ 、 $K_{*d}$ 和 $K_{*i}$ 分别是比例、微分和积分项系数,\*为v或p; $v_r$ 和 $p_r$ 分别是UUV的目标垂向速度和目标纵倾角; $v$ 和 $p$ 分别是UUV的实际垂向速

度和实际纵倾角。

6. 根据权利要求1所述的一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,其特征在于,所述低功耗上浮控制的方法如下:

$$F_+ = \rho * g * \pi * D^2 / 4 * (Z - Z_0)$$

其中, $F_+$ 是垂向正浮力; $\rho$ 是当前试验水域的水密度; $g$ 是重力加速度, $\pi$ 为圆周率; $D$ 为圆筒型浮力调节装置的内直径; $Z$ 为圆筒型浮力调节装置内的活塞位置,且 $Z > Z_0$ ;  $Z_0$ 为人为设定的圆筒型浮力调节装置内的浮力为零的活塞位置。

7. 根据权利要求1所述的一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,其特征在于,所述上浮预先制动控制的方法如下:

$$T_d = K_{d\_p}(d_r - d) + K_{d\_d}(d_r - d) / t + K_{d\_i} \int_0^t (d_r - d)$$

$$\tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

其中, $T_d$ 是目标垂向力, $\tau_p$ 是目标纵倾力矩; $K_{*\_p}$ 、 $K_{*\_d}$ 和 $K_{*\_i}$ 分别是比例、微分和积分项系数,\*为d或p; $d_r$ 和 $p_r$ 分别是UUV的目标深度和目标纵倾角; $d$ 和 $p$ 分别是UUV的实际深度和实际纵倾角。

## 一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及水下机器人技术领域,尤其涉及具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,实现对UUV的垂直面运动控制。

### 背景技术

[0002] 在海洋开发和利用中,水下机器人的应用越来越广泛。传统UUV潜浮控制方法主要采用自动控制方法和对执行结构进行控制力分配,或者固定负浮力配重无动力下潜和抛掉上浮压载后直接上浮至水面,前一种方法的优点是,后一种方法的优点是算法简单。UUV的平衡变化引起浮力状态的改变以及当AUV的外界条件发生改变时,经典线性控制理论的控制方法控制性能急剧下降。本发明采用自动控制理论与固定浮力状态相结合的方法,更加适合易受自身平衡状态和外界环境改变影响的UUV应用。

### 发明内容

[0003] 为了克服以往水下机器人潜浮运动功耗较高或者不能在允许的深度范围内任意深度潜浮的问题,本发明要解决的技术问题提供一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,降低潜浮运动的功耗且能在水下机器人允许到达的深度范围内任意深度进行潜浮运动。

[0004] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种具有浮力调节功能的水下机器人潜浮运动控制方法,包括上浮运动控制和下潜运动控制;

[0005] 所述下潜运动控制包括从水面漂浮到完全浸没控制、低功耗下潜和预先制动控制;

[0006] 所述从水面漂浮到完全浸没控制采用垂向速度闭环控制、纵倾角闭环控制;

[0007] 所述低功耗下潜控制采用固定活塞位置控制;

[0008] 所述下潜预先制动控制采用深度闭环控制、纵倾角闭环控制;

[0009] 所述上浮运动控制包括上浮启动控制、低功耗上浮控制和预先制动控制;

[0010] 所述上浮启动控制采用垂向速度闭环控制、纵倾角闭环控制;

[0011] 所述低功耗上浮控制采用固定活塞位置控制;

[0012] 所述上浮预先制动控制采用深度闭环控制、纵倾角闭环控制。

[0013] 所述从水面漂浮到完全浸没控制的方法如下:

$$[0014] \quad T_v = K_{v\_p}(v_r - v) + K_{v\_d}(v_r - v) / t + K_{v\_i} \int_0^t (v_r - v)$$

$$[0015] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0016] 其中, $T_v$ 是目标垂向力, $\tau_p$ 是目标纵倾力矩; $K_{v\_p}$ 、 $K_{v\_d}$ 和 $K_{v\_i}$ 分别是比例、微分和积分项系数,\*为v或p; $v_r$ 和 $p_r$ 分别是UUV的目标垂向速度和目标纵倾角; $v$ 和 $p$ 分别是UUV的实际垂向速度和实际纵倾角。

[0017] 所述低功耗下潜控制的方法如下:

$$[0018] \quad F_- = \rho * g * \pi * D^2 / 4 * (Z - Z_0)$$

[0019] 其中,  $F_-$  是垂向负浮力;  $\rho$  是当前试验水域的水密度;  $g$  是重力加速度,  $\pi$  为圆周率;  $D$  为圆筒型浮力调节装置的内直径;  $Z$  为圆筒型浮力调节装置内的活塞位置, 且  $Z < Z_0$ ;  $Z_0$  为人为设定的圆筒型浮力调节装置内的浮力为零的活塞位置。

[0020] 所述下潜预先制动控制的方法如下:

$$[0021] \quad T_d = K_{d\_p}(d_r - d) + K_{d\_d}(d_r - d) / t + K_{d\_i} \int_0^t (d_r - d)$$

$$[0022] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0023] 其中,  $T_d$  是目标垂向力,  $\tau_p$  是目标纵倾力矩;  $K_{*\_p}$ 、 $K_{*\_d}$  和  $K_{*\_i}$  分别是比例、微分和积分项系数,  $*$  为  $d$  或  $p$ ;  $d_r$  和  $p_r$  分别是 UUV 的目标深度和目标纵倾角;  $d$  和  $p$  分别是 UUV 的实际深度和实际纵倾角。

[0024] 所述上浮启动控制的方法如下:

$$[0025] \quad T_v = K_{v\_p}(v_r - v) + K_{v\_d}(v_r - v) / t + K_{v\_i} \int_0^t (v_r - v)$$

$$[0026] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0027] 其中,  $T_v$  是目标垂向力,  $\tau_p$  是目标纵倾力矩;  $K_{*\_p}$ 、 $K_{*\_d}$  和  $K_{*\_i}$  分别是比例、微分和积分项系数,  $*$  为  $v$  或  $p$ ;  $v_r$  和  $p_r$  分别是 UUV 的目标垂向速度和目标纵倾角;  $v$  和  $p$  分别是 UUV 的实际垂向速度和实际纵倾角。

[0028] 所述低功耗上浮控制的方法如下:

$$[0029] \quad F_+ = \rho * g * \pi * D^2 / 4 * (Z - Z_0)$$

[0030] 其中,  $F_+$  是垂向正浮力;  $\rho$  是当前试验水域的水密度;  $g$  是重力加速度,  $\pi$  为圆周率;  $D$  为圆筒型浮力调节装置的内直径;  $Z$  为圆筒型浮力调节装置内的活塞位置, 且  $Z > Z_0$ ;  $Z_0$  为人为设定的圆筒型浮力调节装置内的浮力为零的活塞位置。

[0031] 所述上浮预先制动控制的方法如下:

$$[0032] \quad T_d = K_{d\_p}(d_r - d) + K_{d\_d}(d_r - d) / t + K_{d\_i} \int_0^t (d_r - d)$$

$$[0033] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0034] 其中,  $T_d$  是目标垂向力,  $\tau_p$  是目标纵倾力矩;  $K_{*\_p}$ 、 $K_{*\_d}$  和  $K_{*\_i}$  分别是比例、微分和积分项系数,  $*$  为  $d$  或  $p$ ;  $d_r$  和  $p_r$  分别是 UUV 的目标深度和目标纵倾角;  $d$  和  $p$  分别是 UUV 的实际深度和实际纵倾角。

[0035] 本发明具有以下有益效果及优点

[0036] 1. 下潜上浮过程节省能耗。相比以往的潜浮控制方法, 本方法在下潜上浮过程中, 调整好 UUV 上浮下潜姿态和速度后关闭浮力调节装置电源, 对于大深度下潜上浮过程能明显节省能耗。

[0037] 2. 适应自身衡重不准和各种海况环境变化。当外界环境发生改变时, 如外界海面涌流的变化, 以往的潜浮控制方法会下潜上浮速度减慢, 甚至难以上浮下潜以致触发故障; 本方法具有更好的鲁棒性, 更好地适应自身衡重和外界环境的改变。

[0038] 3.应用范围广泛。本发明不但可用于UUV,还可用于各种水下机器人的运动控制。

### 附图说明

[0039] 图1是本发明的下潜三个阶段过程示意图。

[0040] 图2是本发明的上浮三个阶段过程示意图。

### 具体实施方式

[0041] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0042] 本发明的下潜运动控制包括D<sub>1</sub>,D<sub>2</sub>,D<sub>3</sub>三个阶段控制,如图1所示;上浮运动控制包括U<sub>1</sub>,U<sub>2</sub>,U<sub>3</sub>三个阶段控制,如图2所示。

[0043] 本发明的潜浮运动控制方法包括以下几个内容:

[0044] (1)下潜运动控制包括从水面漂浮到完全浸没控制、低功耗下潜和下潜预先制动控制三个阶段控制。

[0045] 第一阶段:从水面漂浮到完全浸没控制,采用垂向速度闭环控制和纵倾角闭环控制,其具体控制方法如下:

$$[0046] \quad T_v = K_{v\_p}(v_r - v) + K_{v\_d}(v_r - v) / t + K_{v\_i} \int_0^t (v_r - v)$$

$$[0047] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0048] 其中,T<sub>v</sub>是目标垂向力,τ<sub>p</sub>是目标纵倾力矩;K<sub>\*\_p</sub>、K<sub>\*\_d</sub>和K<sub>\*\_i</sub>分别是比例、微分和积分项系数,\*为v或p;v<sub>r</sub>和p<sub>r</sub>分别是UUV的目标垂向速度和目标纵倾角;v和p分别是UUV的实际垂向速度和实际纵倾角。

[0049] 第二阶段:低功耗下潜控制采用固定负浮力的位置控制,其具体控制方法如下:

$$[0050] \quad F_- = \rho * g * \pi * D^2 / 4 * (Z - Z_0)$$

[0051] 其中,F<sub>-</sub>是垂向负浮力;ρ是当前试验水域的水密度;g是重力加速度,一般约为9.8;π为圆周率;D为圆筒型浮力调节装置的内直径;Z为圆筒型浮力调节装置内的活塞位置,且Z < Z<sub>0</sub>;Z<sub>0</sub>为人为设定的圆筒型浮力调节装置内的浮力为零的活塞位置。

[0052] 第三阶段:下潜预先制动控制采用深度闭环控制和纵倾角闭环控制,其具体控制方法如下:

$$[0053] \quad T_d = K_{d\_p}(d_r - d) + K_{d\_d}(d_r - d) / t + K_{d\_i} \int_0^t (d_r - d)$$

$$[0054] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0055] 其中,T<sub>d</sub>是目标垂向力,τ<sub>p</sub>是目标纵倾力矩;K<sub>\*\_p</sub>、K<sub>\*\_d</sub>和K<sub>\*\_i</sub>分别是比例、微分和积分项系数,\*为d或p;d<sub>r</sub>和p<sub>r</sub>分别是UUV的目标深度和目标纵倾角;d和p分别是UUV的实际深度和实际纵倾角。

[0056] (2)上浮运动控制包括上浮启动控制、低功耗上浮控制和上浮预先制动控制三个阶段控制。。

[0057] 第一阶段:上浮启动控制采用垂向速度闭环控制和纵倾角闭环控制,其具体控制方法如下:

$$[0058] \quad T_v = K_{v\_p}(v_r - v) + K_{v\_d}(v_r - v) / t + K_{v\_i} \int_0^t (v_r - v)$$

$$[0059] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0060] 其中,  $T_v$  是目标垂向力,  $\tau_p$  是目标纵倾力矩;  $K_{*\_p}$ 、 $K_{*\_d}$  和  $K_{*\_i}$  分别是比例、微分和积分项系数, \* 为  $v$  或  $p$ ;  $v_r$  和  $p_r$  分别是 UUV 的目标垂向速度和目标纵倾角;  $v$  和  $p$  分别是 UUV 的实际垂向速度和实际纵倾角。

[0061] 第二阶段: 低功耗上浮控制采用固定正浮力的位置控制, 其具体控制方法如下:

$$[0062] \quad F_+ = \rho * g * \pi * D^2 / 4 * (Z - Z_0)$$

[0063] 其中,  $F_+$  是垂向正浮力;  $\rho$  是当前试验水域的水密度;  $g$  是重力加速度, 一般约为 9.8;  $\pi$  为圆周率;  $D$  为圆筒型浮力调节装置的内直径;  $Z$  为圆筒型浮力调节装置内的活塞位置, 且  $Z > Z_0$ ;  $Z_0$  为人为设定的圆筒型浮力调节装置内的浮力为零的活塞位置。

[0064] 第三阶段: 上浮预先制动控制采用深度闭环控制和纵倾角闭环控制, 其具体控制方法如下:

$$[0065] \quad T_d = K_{d\_p}(d_r - d) + K_{d\_d}(d_r - d) / t + K_{d\_i} \int_0^t (d_r - d)$$

$$[0066] \quad \tau_p = K_{p\_p}(p_r - p) + K_{p\_d}(p_r - p) + K_{p\_i} \int_0^t (p_r - p)$$

[0067] 其中,  $T_d$  是目标垂向力,  $\tau_p$  是目标纵倾力矩;  $K_{*\_p}$ 、 $K_{*\_d}$  和  $K_{*\_i}$  分别是比例、微分和积分项系数, \* 为  $d$  或  $p$ ;  $d_r$  和  $p_r$  分别是 UUV 的目标深度和目标纵倾角;  $d$  和  $p$  分别是 UUV 的实际深度和实际纵倾角。

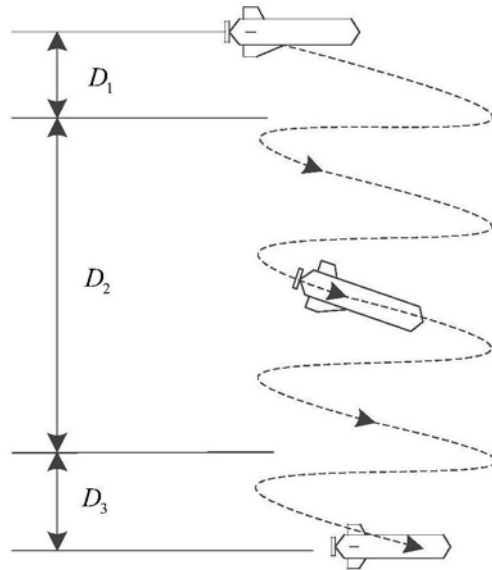


图1

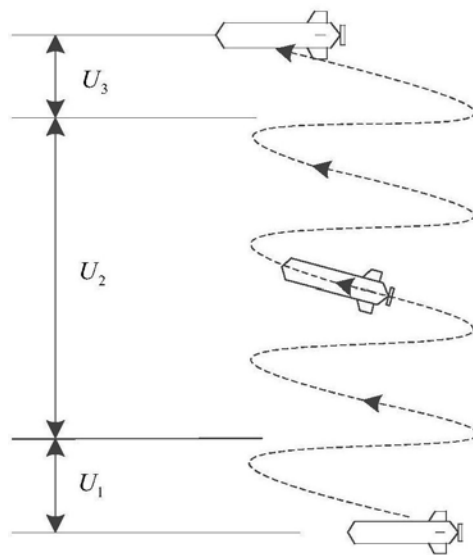


图2