



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106020212 A

(43)申请公布日 2016. 10. 12

(21)申请号 201610312367.6

(22)申请日 2016.05.12

(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 严浙平 徐达 周易 陈涛 张宏瀚 周佳加

(51) Int. Cl. G05D 1/06(2006.01)

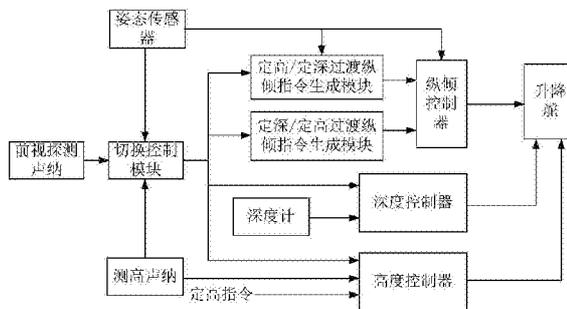
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统及切换方法

(57)摘要

本发明提供的是一种UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统及切换方法。切换控制模块接收前视探测声纳测量的距前下方海底的距离、测高声纳测量的距正下方海底的高度、姿态传感器测量的纵倾,根据当前的航行状态并利用以上信息判断是否需要进行航行切换,如果需要,将发出相应的切换信号。定高/定深过渡纵倾指令生成模块和定深/定高过渡纵倾指令生成模块产生纵倾指令并传送到纵倾控制器;纵倾控制器根据纵倾指令和实际纵倾、深度控制器根据深度指令和实际深度、高度控制器根据高度指令和实际高度均产生升降舵控制量。本发明可实现UUV海底地形跟踪过程中,遇到海底悬崖时自动切换为定深航行;当UUV跨越海底悬崖后,自动切换回定高航行。



CN 106020212 A

1. 一种UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统,其特征是:包括测高声纳、深度计、姿态传感器、前视探测声纳、切换控制模块、定高/定深过渡纵倾指令生成模块、定深/定高过渡纵倾指令生成模块、纵倾控制器、深度控制器、高度控制器和升降舵;

所述测高声纳测量UUV距正下方海底的高度 h ,并传送到切换控制模块和高度控制器;

所述深度计测量UUV距海平面的深度 d ,并传送到深度控制器;

所述姿态传感器测量UUV的纵倾 p ,并传送到切换控制模块、定高/定深过渡纵倾指令生成模块和纵倾控制器;

所述前视探测声纳探测UUV距前下方海底的距离 r ,并传送到切换控制模块;

所述切换控制模块根据接收到的高度 h 、纵倾 p 和距离 r ,结合UUV当前的航行状态,判断是否需要进行航行切换,如果需要,将切换信号分别传送到定高/定深过渡纵倾指令生成模块、定深/定高过渡纵倾指令生成模块、深度控制器和高度控制器;如果不需要,则不输出任何信号;

定高/定深过渡纵倾指令生成模块和定深/定高过渡纵倾指令生成模块分别将在定高/定深过渡航行、定深/定高过渡航行过程中产生UUV的纵倾指令 p_{cmd} 传送到纵倾控制器;

纵倾控制器根据纵倾指令和UUV的实际纵倾产生控制量并传送到升降舵用于对UUV纵倾的控制;

深度控制器根据深度指令和UUV的实际深度产生控制量并传送到升降舵用于对UUV深度的控制;

高度控制器根据高度指令和UUV的实际高度产生控制量并传送到升降舵用于对UUV高度的控制。

2. 根据权利要求1所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统,其特征是:测高声纳安装在UUV的腹部,波束方向为UUV的正下方。

3. 根据权利要求2所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统,其特征是:深度计、姿态传感器安装在UUV中部的横舭面处。

4. 根据权利要求3所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统,其特征是:前视探测声纳安装在UUV的艏部,波束方向与水平面的夹角为60度。

5. 基于权利要求1所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统的切换方法,其特征是:

步骤一:UUV保持对海底地形跟踪的定高航行;

步骤二:UUV判断前方地形是否为悬崖,如果是悬崖,UUV从定高航行切换为定高/定深过渡航行并转步骤三,否则转步骤一;

步骤三:UUV进行纵倾控制,将纵倾逐步调整到0度;

步骤四:UUV判断定高/定深过渡航行是否结束,如果结束,UUV从定高/定深过渡航行切换为定深航行并转步骤五,否则转步骤三,判断定高/定深过渡航行结束的方法为:UUV的纵倾的绝对值小于等于0.5度,即 $|p| \leq 0.5$;

步骤五:UUV以定深航行开始时刻的实际深度为指令深度,进行深度控制;

步骤六:UUV判断定深航行是否结束,如果结束,UUV从定深航行切换为定深/定高过渡航行并转步骤七,否则转步骤五,判断定深航行结束的方法为:前视探测声纳测量到UUV距前下方海底的距离小于等于120米,即 $r \leq 120$;

步骤七:UUV进行纵倾控制,将纵倾逐步调整到指定的纵倾;

步骤八:UUV判断定深/定高过渡航行是否结束,如果结束,转步骤九,否则转步骤七;

步骤九:判断任务是否完成,若完成,任务结束,否则转步骤一。

6.根据权利要求5所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法,其特征是:UUV判断前方地形是否为悬崖的方法为满足式:

$$\sin(p)f(r,r_{\min},r_{\max})\geq 0.55$$

式中, $\sin(p)$ 表示UUV纵倾评估项, $f(r,r_{\min},r_{\max})$ 表示UUV距前下方海底的距离评估项; $f(r,r_{\min},r_{\max})$ 的表达形式为:

$$f(r,r_{\min},r_{\max}) = \begin{cases} 0, & r \leq r_{\min} \\ 2\left(\frac{r-r_{\min}}{r_{\max}-r_{\min}}\right)^2, & r_{\min} \leq r \leq \frac{r_{\min}+r_{\max}}{2} \\ 1-2\left(\frac{r-r_{\max}}{r_{\max}-r_{\min}}\right)^2, & \frac{r_{\min}+r_{\max}}{2} \leq r \leq r_{\max} \\ 1, & r \geq r_{\max} \end{cases}$$

其中, r_{\min} 为UUV距前下方海底的距离低限值,取100~120,当 $r \leq r_{\min}$ 时 $f(r,r_{\min},r_{\max})=0$; r_{\max} 为UUV距前下方海底的距离高限值,取160~180,当 $r \geq r_{\max}$ 时 $f(r,r_{\min},r_{\max})=1$ 。

7.根据权利要求6所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法,其特征是:UUV将纵倾逐步调整到0度的过程中,纵倾指令按下式产生:

$$p_{cmd} = p_0 \frac{e^{-at} - e^{at}}{e^{-at} + e^{at}} + p_0$$

式中, p_{cmd} 表示纵倾指令; p_0 表示定高/定深过渡航行切换开始时刻的UUV纵倾值; a 为调整参数,用来调整纵倾指令的变化率,取0.1~0.5。

8.根据权利要求7所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法,其特征是:UUV将纵倾逐步调整到指定的纵倾的过程中,纵倾指令按下式产生:

$$p_{cmd} = \lambda \frac{e^{bt} - e^{-bt}}{e^{-bt} + e^{bt}}$$

式中, λ 表示期望调整到的纵倾值,取5~20度; b 为调整参数,用来调整纵倾指令的变化率,取0.1~0.5。

9.根据权利要求8所述的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法,其特征是:判断定深/定高过渡航行结束的方法为满足下式:

$$\frac{\sum_{t=k-9}^k h(t)}{10} \leq 2$$

式中, t 表示采用时间, k 表示当前时刻。

一种UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统及切换方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种UUV(水下无人飞行器,Unmanned Underwater Vehicle)的航行控制系统,本发明也涉及的是一种UUV的航行控制方法。具体地说是一种UUV在海底地形跟踪过程中遇到海底悬崖时的航行切换系统及切换方法。

背景技术

[0002] 海底地形跟踪航行是UUV执行海底地貌勘测、海底目标搜索、海底管线巡检等任务时所必须使用的航行方式,其本质为UUV距离海底定高航行,定高高度通常在距海底30-50米之间以保证有较好的作业效果。然而由于海底地形的复杂性,UUV在海底地形跟踪过程中可能会遇到几百米甚至上千米深的海底悬崖。这种情况下,如果继续进行海底地形跟踪航行,UUV会以大的纵倾跟踪悬崖而深潜,极易发生倾覆事故或直接坠入悬崖。因此为了保证航行的安全,UUV在遇到海底悬崖时必须放弃地形跟踪航行,切换为定深航行,当跨越海底悬崖之后,再切换为定高航行继续跟踪海底地形。因而海底地形跟踪过程中,就要求UUV能够自主判断前方地形是否是海底悬崖。如果是海底悬崖,则需要UUV进行定高/定深航行状态的切换,以保证能够安全的通过悬崖。

[0003] 关于UUV航迹规划与控制的技术方案已经有很多,但是这些方案并不能实现UUV在海底地形跟踪过程中遇到海底悬崖时为保证航行安全而切换为定深航行,跨越海底悬崖后自动切换回定高航行并继续执行地形跟踪。申请号为201510790254.2的专利文件中公开了一种“基于感知驱动的自航式海底地形地貌测绘系统及测绘方法”,主要解决移动观测设备执行测绘任务时,其探测轨迹覆盖的探测区域不完整问题。能够全面地测量目标区域、精确快速地描绘出水下地形地貌的精细特征,实现了目标区域海底地形的自航式全面测量。虽然该技术方案能实现海底地形的自航式全面测量,但并没有解决UUV在海底地形跟踪过程中遇到海底悬崖时如何切换为定深航行,跨越海底悬崖后自动切换回定高航行的问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种能够自主判断海底悬崖,且能够安全、自适应的进行定高和定深航行切换的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统。本发明的目的还在于提供一种UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法。

[0005] 本发明的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统包括测高声纳、深度计、姿态传感器、前视探测声纳、切换控制模块、定高/定深过渡纵倾指令生成模块、定深/定高过渡纵倾指令生成模块、纵倾控制器、深度控制器、高度控制器和升降舵;

[0006] 所述测高声纳测量UUV距正下方海底的高度 h ,并传送到切换控制模块和高度控制器;

[0007] 所述深度计测量UUV距海平面的深度 d ,并传送到深度控制器;

[0008] 所述姿态传感器测量UUV的纵倾 p ,并传送到切换控制模块、定高/定深过渡纵倾指令生成模块和纵倾控制器;

[0009] 所述前视探测声纳探测UUV距前下方海底的距离 r ,并传送到切换控制模块;

[0010] 所述切换控制模块根据接收到的高度 h 、纵倾 p 和距离 r ,结合UUV当前的航行状态,判断是否需要航行切换,如果需要,将切换信号分别传送到定高/定深过渡纵倾指令生成模块、定深/定高过渡纵倾指令生成模块、深度控制器和高度控制器;如果不需要,则不输出任何信号;

[0011] 定高/定深过渡纵倾指令生成模块和定深/定高过渡纵倾指令生成模块分别将在定高/定深过渡航行、定深/定高过渡航行过程中产生UUV的纵倾指令 p_{cmd} 传送到纵倾控制器;

[0012] 纵倾控制器根据纵倾指令和UUV的实际纵倾产生控制量并传送到升降舵用于对UUV纵倾的控制;

[0013] 深度控制器根据深度指令和UUV的实际深度产生控制量并传送到升降舵用于对UUV深度的控制;

[0014] 高度控制器根据高度指令和UUV的实际高度产生控制量并传送到升降舵用于对UUV高度的控制。

[0015] 本发明的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统还可以包括:

[0016] 1、测高声纳安装在UUV的腹部,波束方向为UUV的正下方。

[0017] 2、深度计、姿态传感器安装在UUV中部的横舭面处。

[0018] 3、前视探测声纳安装在UUV的艏部,波束方向与水平面的夹角为60度。

[0019] 本发明的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法为:

[0020] 步骤一:UUV保持对海底地形跟踪的定高航行;

[0021] 步骤二:UUV判断前方地形是否为悬崖,如果是悬崖,UUV从定高航行切换为定高/定深过渡航行并转步骤三,否则转步骤一;

[0022] 步骤三:UUV进行纵倾控制,将纵倾逐步调整到0度;

[0023] 步骤四:UUV判断定高/定深过渡航行是否结束,如果结束,UUV从定高/定深过渡航行切换为定深航行并转步骤五,否则转步骤三,判断定高/定深过渡航行结束的方法为:UUV的纵倾的绝对值小于等于0.5度,即 $|p| \leq 0.5$;

[0024] 步骤五:UUV以定深航行开始时刻的实际深度为指令深度,进行深度控制;

[0025] 步骤六:UUV判断定深航行是否结束,如果结束,UUV从定深航行切换为定深/定高过渡航行并转步骤七,否则转步骤五,判断定深航行结束的方法为:前视探测声纳测量到UUV距前下方海底的距离小于等于120米,即 $r \leq 120$;

[0026] 步骤七:UUV进行纵倾控制,将纵倾逐步调整到指定的纵倾;

[0027] 步骤八:UUV判断定深/定高过渡航行是否结束,如果结束,转步骤九,否则转步骤七;

[0028] 步骤九:判断任务是否完成,若完成,任务结束,否则转步骤一。

[0029] 本发明的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法还可以包括:

[0030] 1、UUV判断前方地形是否为悬崖的方法为满足式:

[0031] $\sin(p)f(r, r_{min}, r_{max}) \geq 0.55$

[0032] 式中, $\sin(p)$ 表示UUV纵倾评估项, $f(r, r_{min}, r_{max})$ 表示UUV距前下方海底的距离评估项; $f(r, r_{min}, r_{max})$ 的表达形式为:

$$[0033] \quad f(r, r_{\min}, r_{\max}) = \begin{cases} 0, & r \leq r_{\min} \\ 2 \left(\frac{r - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \right)^2, & r_{\min} \leq r \leq \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{r - r_{\max}}{r_{\max} - r_{\min}} \right)^2, & \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} \leq r \leq r_{\max} \\ 1, & r \geq r_{\max} \end{cases}$$

[0034] 其中, r_{\min} 为UUV距前下方海底的距离低限值, 取100~120, 当 $r \leq r_{\min}$ 时 $f(r, r_{\min}, r_{\max}) = 0$; r_{\max} 为UUV距前下方海底的距离高限值, 取160~180, 当 $r \geq r_{\max}$ 时 $f(r, r_{\min}, r_{\max}) = 1$ 。

[0035] 2、UUV将纵倾逐步调整到0度的过程中, 纵倾指令按下式产生:

$$[0036] \quad p_{cmd} = p_0 \frac{e^{-at} - e^{at}}{e^{-at} + e^{at}} + p_0$$

[0037] 式中, p_{cmd} 表示纵倾指令; p_0 表示定高/定深过渡航行切换开始时刻的UUV纵倾值; a 为调整参数, 用来调整纵倾指令的变化率, 取0.1~0.5。

[0038] 3、UUV将纵倾逐步调整到指定的纵倾的过程中, 纵倾指令按下式产生:

$$[0039] \quad p_{cmd} = \lambda \frac{e^{bt} - e^{-bt}}{e^{-bt} + e^{bt}}$$

[0040] 式中, λ 表示期望调整到的纵倾度值, 取5~20度; b 为调整参数, 用来调整纵倾指令的变化率, 取0.1~0.5。

[0041] 4、判断定深/定高过渡航行结束的方法为满足下式:

$$[0042] \quad \frac{\sum_{t=k-9}^k h(t)}{10} \leq 2$$

[0043] 式中, t 表示采用时间, k 表示当前时刻; 即: 测高声纳测量到的UUV距正下方的海底高度连续10个采样时刻的均值小于2米时认为定深/定高过渡航行结束。

[0044] 本发明提供的是一种UUV在海底地形跟踪过程中遇到海底悬崖时为保证航行安全而切换为定深航行, 跨越海底悬崖后自动切换回定高航行以继续执行地形跟踪的UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统及切换方法。

[0045] 本发明的有益效果:

[0046] 可以实现UUV安全的海底地形跟踪航行, 特别是在遇到海底悬崖时能够通过切换航行状态跨越悬崖。

[0047] 在海底地形跟踪的定高航行和跨越悬崖的定深航行之间增加了定高/定深过渡航行、定深/定高过渡航行, 通过两个过渡航行调整UUV的纵倾从而实现定高和定深航行的平稳切换。

[0048] 航行状态切换的判据所需的信息量小、计算简单、实时性好。

附图说明

- [0049] 图1 UUV海底地形跟踪过程中的航行切换示意图；
[0050] 图2 UUV传感器安装配置侧视示意图；
[0051] 图3 UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统结构图；
[0052] 图4判断是否为悬崖时UUV距前下方海底的距离评估示意图；
[0053] 图5 UUV定高/定深过渡纵倾指令生成示意图；
[0054] 图6 UUV定深/定高过渡纵倾指令生成示意图；
[0055] 图7 UUV海底地形跟踪过程中的航行切换流程图。

具体实施方式

- [0056] 下面举例对本发明进行详细说明。
- [0057] 结合图1,UUV海底地形跟踪过程中的航行切换描述如下：
- [0058] 如图1所示,UUV与海平面的距离为其实际深度 d ,由深度计测得;UUV与正下方海底的距离为实际高度 h ,由测高声纳测得;UUV与前下方海底的距离为 r ,由前视声纳测得。UUV在海底地形跟踪过程中,目的是始终保持与海底以固定的高度航行,这样UUV将随海底地形的起伏而起伏,从而实现对海底地形的跟踪。一旦遇到海底悬崖,为了保证自身的安全,UUV将定高航行转换为某一深度的定深航行以跨越悬崖。跨越悬崖之后,UUV将定深航行切换回定高航行以继续进行海底地形跟踪。
- [0059] 整个过程中,UUV共有4种航行状态:(1)定高航行,UUV控制高度,使其与海底保持固定高度航行以实现对海底地形的跟踪;(2)定深航行,UUV控制深度使其保持固定的深度航行以跨越悬崖;(3)定高/定深过渡航行,UUV控制纵倾,使其在探测到悬崖时减小纵倾到0度,平稳地实现定高航行到定深航行的过渡;(4)定深/定高过渡航行,UUV控制纵倾,使其在即将越过悬崖时增大纵倾到一定度数,平稳地实现定深航行到定高航行的过渡。从图中可以看出,整个过程共包括4种切换:(1)定高航行→定高/定深过渡航行切换;(2)定高/定深过渡航行→定深航行切换;(3)定深航行→定深/定高过渡航行切换;(4)定深/定高过渡航行→定高航行切换。
- [0060] 结合图2,UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统所需要的传感器配置包括：
- [0061] 在UUV的腹部安装有测高声纳1,波束方向为UUV的正下方,用来测量UUV距正下方海底的高度,高度探测和输出范围为 $[0,150]$ 米。
- [0062] 在UUV中部的横舳面处安装有深度计2为和姿态传感器3。深度计用来测量UUV距海平面的深度信息,深度测量和输出范围为 $[0,500]$ 米。姿态传感器用来测量UUV的纵倾,纵倾测量和输出范围均为 $[-90,90]$ 度,埋舳为正,仰舳为负。
- [0063] 在UUV的舳部安装有前视探测声纳4,用来测量UUV距前下方海底的距离,距离探测和输出范围为 $[0,200]$ 米,波束方向与水平面的夹角为60度。
- [0064] 结合图3,UUV海底地形跟踪过程中的航行切换系统包括测高声纳、深度计、姿态传感器、前视探测声纳、切换控制模块、定高/定深过渡纵倾指令生成模块、定深/定高过渡纵倾指令生成模块、纵倾控制器、深度控制器、高度控制器、升降舵。
- [0065] 测高声纳用于测量UUV距正下方海底的高度 h (单位:米),并将高度信息传送到切

换控制模块和高度控制器；

[0066] 深度计用于测量UUV距海平面的深度 d (单位:米),并将深度信息传送到深度控制器；

[0067] 姿态传感器用于测量UUV的纵倾 p (单位:度),并将纵倾信息传送到切换控制模块、定高/定深过渡纵倾指令生成模块、纵倾控制器；

[0068] 前视探测声纳用于探测UUV距前下方海底的距离 r (单位:米),并将距离信息传送到切换控制模块；

[0069] 切换控制模块根据接收到的高度 h 、纵倾 p 、距离 r ,结合UUV当前的航行状态,判断是否需要进行航行切换。如果需要,将相应的切换信号分别传送到定高/定深过渡纵倾指令生成模块、定深/定高过渡纵倾指令生成模块、深度控制器和高度控制器;如果不需要,则不输出任何信号；

[0070] 定高/定深过渡纵倾指令生成模块和定深/定高过渡纵倾指令生成模块分别用于在定高/定深过渡航行、定深/定高过渡航行过程中产生UUV的纵倾指令 p_{cmd} ,并将纵倾指令传送到纵倾控制器；

[0071] 纵倾控制器根据纵倾指令和UUV的实际纵倾产生控制量并传送到升降舵以实现UUV纵倾的控制；

[0072] 深度控制器根据深度指令和UUV的实际深度产生控制量并传送到升降舵以实现UUV深度的控制；

[0073] 高度控制器根据高度指令和UUV的实际高度产生控制量并传送到升降舵以实现UUV高度的控制；

[0074] 升降舵作为UUV控制纵倾、深度和高度的执行机构。

[0075] 切换控制模块接收前视探测声纳测量的UUV距前下方海底的距离 r 、测高声纳测量的UUV距正下方海底的高度 h ,姿态传感器测量的UUV的纵倾 p ,然后根据当前的航行状态,并综合利用以上三个信息,判断是否需要进行航行切换。如果需要,将相应的切换信号分别传送到定高/定深过渡纵倾指令生成模块、定深/定高过渡纵倾指令生成模块、深度控制器和高度控制器。下面详细介绍4种切换的判据条件。

[0076] 定高航行→定高/定深过渡航行的切换判据如式(1)所示

[0077] $\sin(p)f(r, r_{min}, r_{max}) \geq 0.55$ (1)式中, $\sin(p)$ 表示UUV纵倾评估项, $f(r, r_{min}, r_{max})$ 表示UUV距前下方海底的距离评估项;上式表示根据UUV的纵倾和距前下方海底的距离进行综合评估,当评估值高于设定的阈值时,说明UUV当前的纵倾较大且前视探测声纳测量到的前下方距离也较大,认为遇到悬崖,那么进行定高航行→定高/定深过渡航行的切换,选取的阈值0.55所对应的UUV纵倾约为45度、UUV距前下方海底距离约为160米。 $f(r, r_{min}, r_{max})$ 的表达形式如式(2)所示:

$$[0078] \quad f(r, r_{\min}, r_{\max}) = \begin{cases} 0, & r \leq r_{\min} \\ 2 \left(\frac{r - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \right)^2, & r_{\min} \leq r \leq \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{r - r_{\max}}{r_{\max} - r_{\min}} \right)^2, & \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} \leq r \leq r_{\max} \\ 1, & r \geq r_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

[0079] 式中, r_{\min} 称为低限值,一般取100~120,当 $r \leq r_{\min}$ 时有 $f(r, r_{\min}, r_{\max}) = 0$; r_{\max} 称为高限值,一般取160~180,当 $r \geq r_{\max}$ 时有 $f(r, r_{\min}, r_{\max}) = 1$ 。图4给出了 $r_{\min} = 120, r_{\max} = 160$ 时的 $f(r, r_{\min}, r_{\max})$ 评估曲线。

[0080] 定高/定深过渡航行→定深航行的切换判据如式(3)所示:

$$[0081] \quad |p| \leq 0.5 \quad (3)$$

[0082] 上式表示当UUV的纵倾的绝对值小于0.5度时,认为UUV已将纵倾基本调整为0度,定高/定深过渡航行结束,可以切换为定深航行。

[0083] 定深航行→定深/定高过渡航行的切换判据如式(4)所示:

$$[0084] \quad r \leq 120 \quad (4)$$

[0085] 上式表达当前视探测声纳测量到UUV局前下方海底的距离小于等于120米时,认为海底悬崖已经跨越,定深航行结束,可以切换为定深/定高过渡航行。

[0086] 定深/定高过渡航行→定高航行的切换判据如式(5)所示:

$$[0087] \quad \frac{\sum_{t=k-9}^k h(t)}{10} \leq 2 \quad (5)$$

[0088] 式中, t 表示时间, k 表示当前时刻,上式表达当测高声纳测量到的UUV距正下方的海底高度连续10个采样时刻的均值小于2米时,认为海底地形已经比较平坦,定深/定高过渡航行结束,可以切换为定高航行。

[0089] 定高/定深过渡纵倾指令生成模块接收切换控制模块的定高/定深过渡航行的切换信号、姿态传感器测量的UUV纵倾信息,当接收到切换信号后产生纵倾指令输出到纵倾控制器,以控制UUV的纵倾使其平稳地减小到0度。纵倾指令按下式(6)产生

$$[0090] \quad p_{cmd} = p_0 \frac{e^{-at} - e^{at}}{e^{-at} + e^{at}} + p_0 \quad (6)$$

[0091] 式中, p_{cmd} 表示纵倾指令; p_0 表示定高/定深过渡航行切换开始时刻的UUV纵倾值; a 为调整参数,用来调整纵倾指令的变化率,一般取0.1~0.5;图5给出了切换开始时刻的UUV纵倾 p_0 为35度, a 取值为0.25时的纵倾指令曲线。从图5中可以看出,大约10s左右纵倾指令从35度变换到0度。

[0092] 定深/定高过渡纵倾指令生成模块接收切换控制模块的定深/定高过渡航行切换信号后产生纵倾指令输出到纵倾控制器,以控制UUV的纵倾使其平稳地增加到指定值。纵倾指令按下式(7)产生

$$[0093] \quad p_{cmd} = \lambda \frac{e^{bt} - e^{-bt}}{e^{-bt} + e^{bt}} \quad (7)$$

[0094] 式中, λ 表示期望增加到的纵倾值,一般可取5~20度; b 为调整参数,用来调整纵倾指令的变化率,一般取0.1~0.5;图6给出了期望纵倾值 λ 为10度, b 取值为0.1时的纵倾指令曲线。从图5中可以看出,大约25s左右纵倾指令从0度变换到10度。

[0095] 纵倾控制器接收定高/定深过渡纵倾指令生成模块或定深/定高过渡纵倾指令生成模块的纵倾指令、姿态传感器测量的UUV纵倾信息,基于PID控制器产生控制量并输出到UUV的升降舵,以实现UUV的纵倾控制。

[0096] 深度控制器接收切换控制模块的定深航行切换信号、深度计测量的UUV深度信息,以切换定深航行开始时刻的UUV深度为指令深度,基于PID控制器产生控制量并输出到UUV的升降舵,以实现UUV的深度控制。

[0097] 高度控制器接收切换控制模块的定高航行切换信号、测高声纳测量的UUV高度信息,当接收到定高航行切换信号后,以设定的高度 h_{cmd} 为定高指令,基于PID控制器产生控制量并输出到UUV的升降舵,以实现UUV的高度控制。

[0098] 升降舵作为UUV控制纵倾、深度和高度的执行机构。

[0099] 结合图7,UUV海底地形跟踪过程中的航行切换方法为:

[0100] 1、初始化设定定高指令 h_{cmd} 和参数 λ 、 a 、 b ;

[0101] 2、UUV通过高度控制执行定高航行以对海底地形进行跟踪;

[0102] 3、根据式(1)判断前方地形是否为悬崖,如果是转步骤4,否则转步骤2;

[0103] 4、UUV从定高航行切换为定高/定深过渡航行;

[0104] 5、根据式(6)产生纵倾指令并进行纵倾控制;

[0105] 6、根据式(3)判断定高/定深过渡航行是否结束,如果结束转步骤7,否则转步骤5;

[0106] 7、UUV从定高/定深过渡航行切换为定深航行;

[0107] 8、UUV以定深航行开始时刻的深度为指令深度,进行深度控制;

[0108] 9、根据式(4)判断定深航行是否结束,如果结束转步骤10,否则转步骤8;

[0109] 10、UUV从定深航行切换为定深/定高过渡航行;

[0110] 11、根据式(7)产生纵倾指令并进行纵倾控制;

[0111] 12、根据式(5)判断深/定高过渡航行是否结束,如果结束转步骤13,否则转步骤11;

[0112] 13、判断任务是否完成,若完成,任务结束,否则转步骤2。

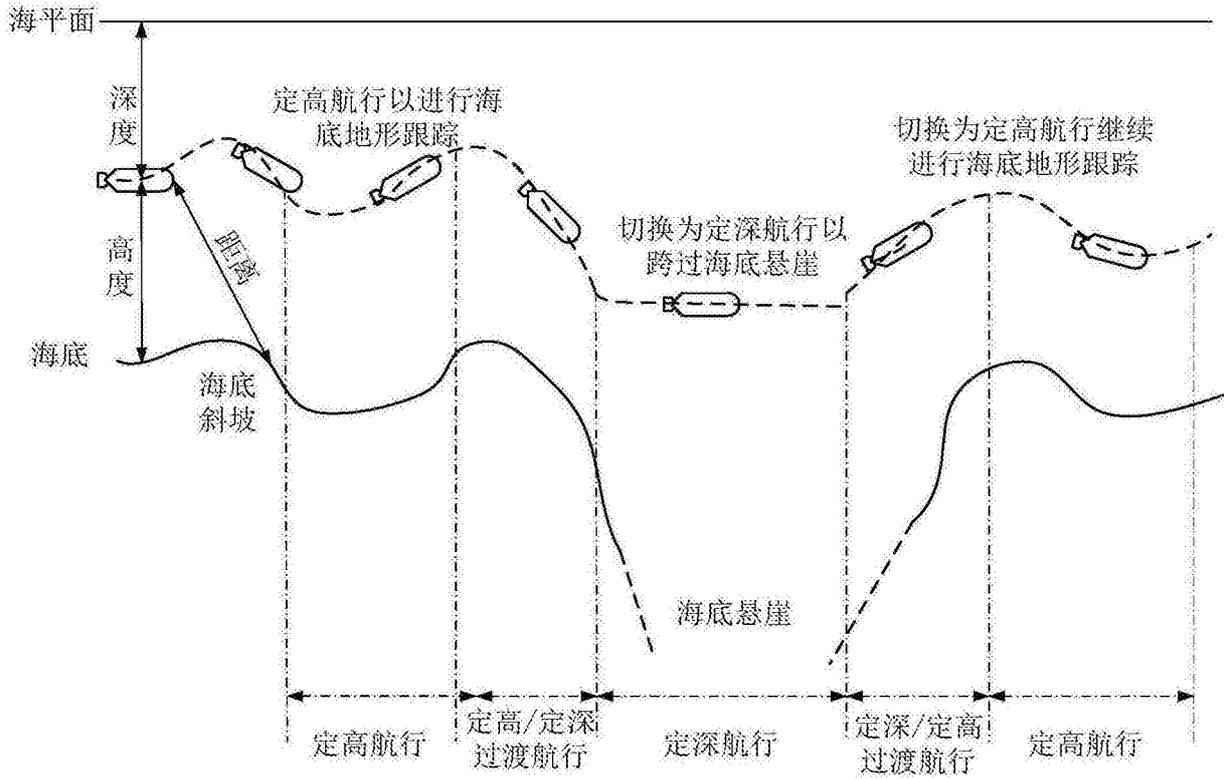


图1

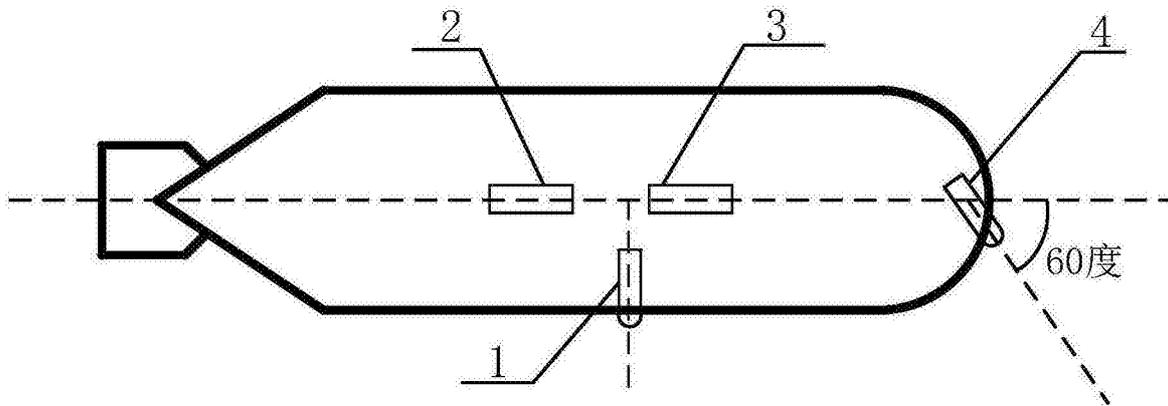


图2

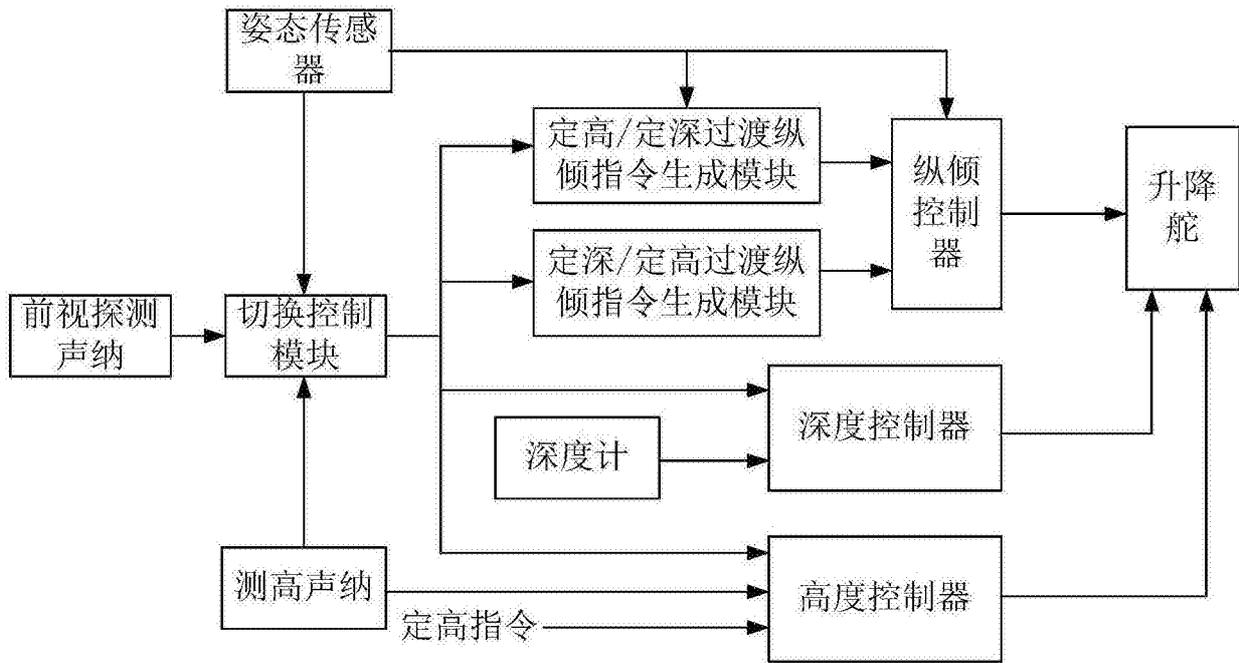


图3

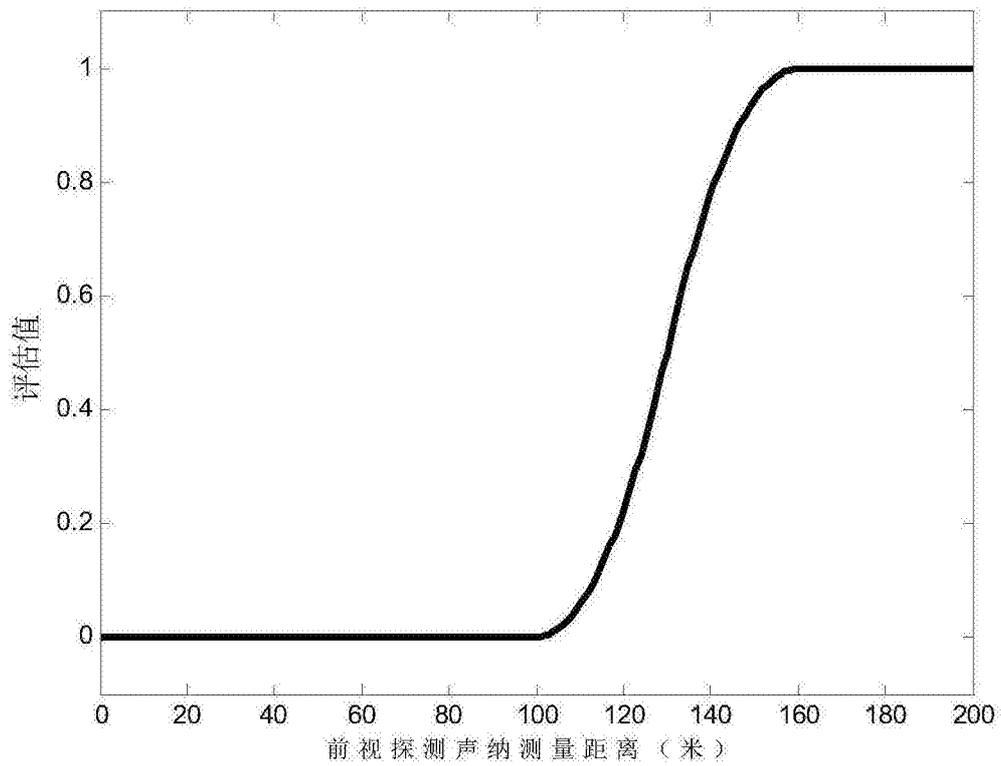


图4

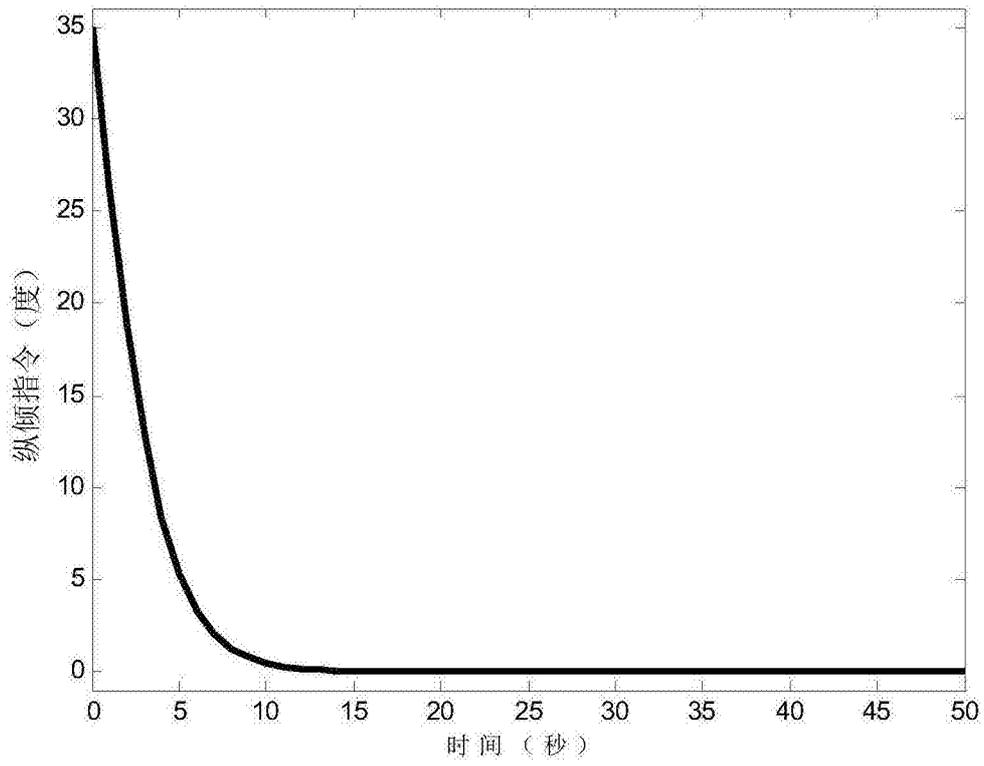


图5

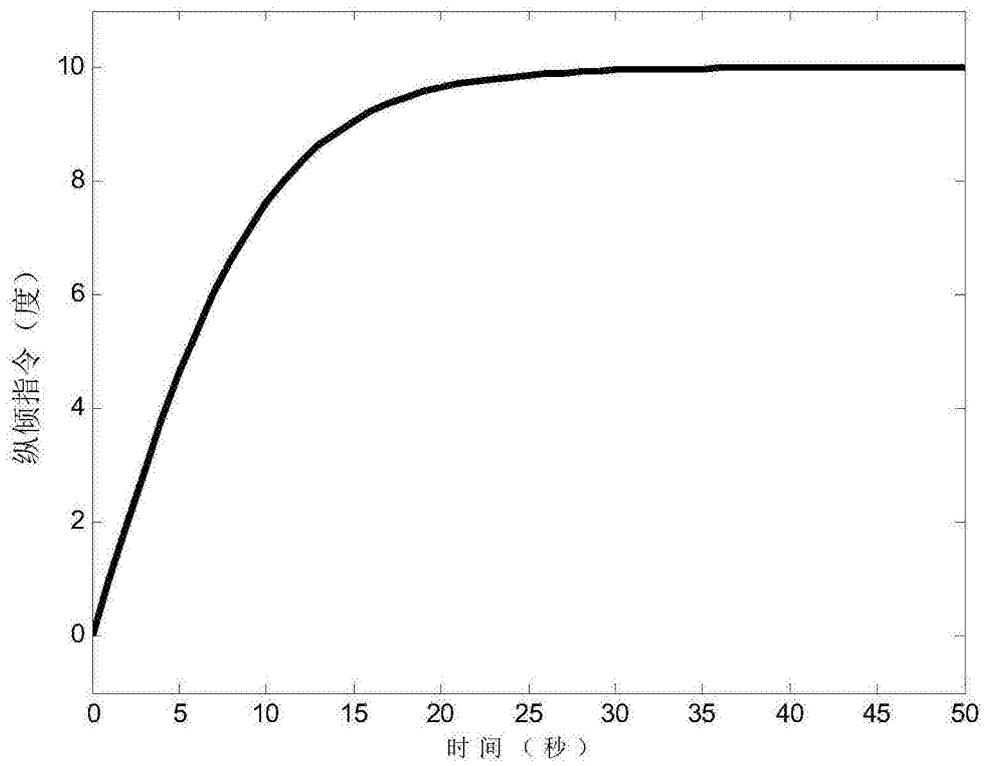


图6

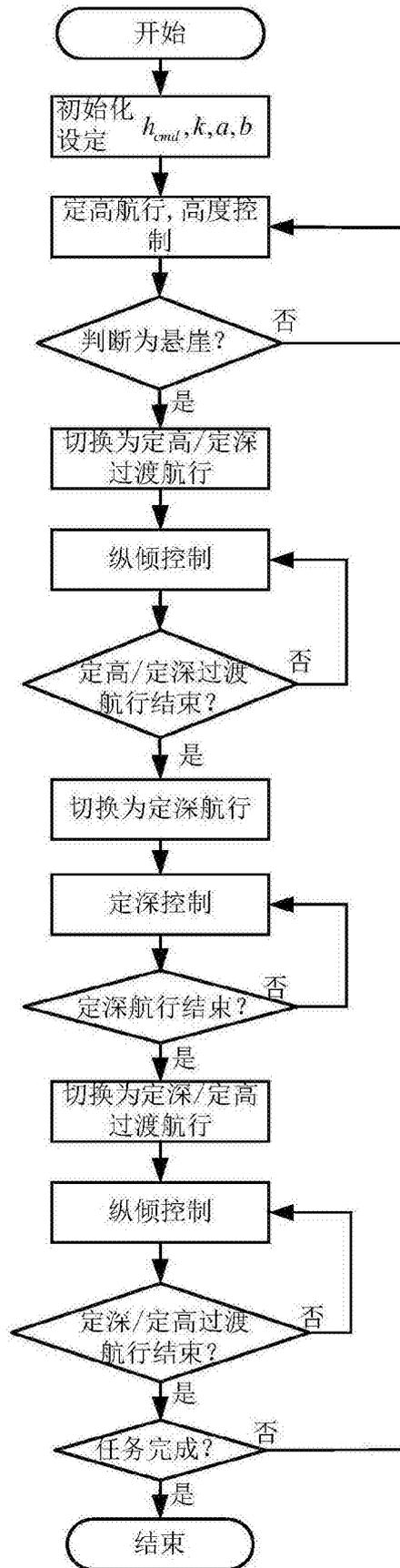


图7