



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109782778 A
(43)申请公布日 2019.05.21

(21)申请号 201711101795.5

(22)申请日 2017.11.10

(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 邵刚 徐春晖 王轶群 刘健
姜金祎 许阳

(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 1/06(2006.01)
G05B 13/04(2006.01)

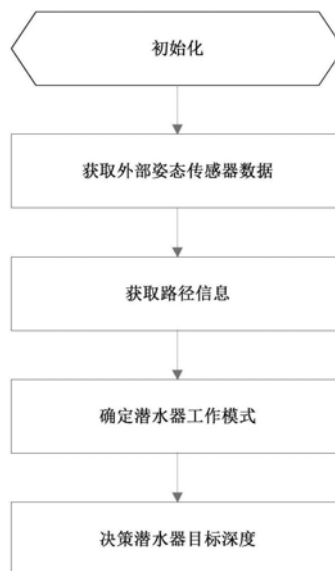
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于无模型自适应定深控制方法

(57)摘要

本发明涉及水下机器人技术领域,尤其涉及一种基于无模型自适应控制(Model Free Adaptive Controller,MFAC)定深方法,实现自主水下机器人在变化海洋环境下的机器人平稳的航行。包括以下步骤:步骤一:AUV通过外部深度传感器获取当前状态信息;步骤二:通过获得的外部信息和姿态信息决策当前的深度改变潜水器的控制过程;步骤三:基于AUV的控制方法,设计无模型自适应全局控制器,确保AUV的深度控制。本方法移植方便,可以适用于各种水下机器人。



1. 一种基于无模型自适应控制定深方法,其特征在于,通过离散时间非线性系统获得AUV执行系统的控制量,实现AUV的深度控制,包括以下步骤:

读取传感器的信息,获取AUV当前的深度;

根据传感器的信息通过离散时间非线性系统自适应获得AUV执行系统的控制量,用于AUV通过控制量控制执行系统执行动作,使AUV达到目标深度。

2. 根据权利要求1所述的一种所述的一种基于无模型自适应控制定深方法,其特征在于所述根据传感器的信息通过离散时间非线性系统自适应获得AUV执行系统的控制量通过下式得到:

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\eta_k \Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} \times (\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1) \Delta u(k-1)) \quad (14)$$

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(1), \hat{\phi}(k) \leq \varepsilon \text{ 或 } |\Delta u(k-1)| \leq \varepsilon \quad (15)$$

$$\Delta u(k) = \Delta u(k-1) + \frac{\rho_k \phi(k)}{\lambda + |\phi(k)|^2} [y^*(k+1) - y(k)] \quad (16)$$

其中, $\eta_k, \rho_k \in (0, 2)$, 表示步长序列; μ, λ 是权重因子, ε 是常数, $\hat{\phi}(1)$ 是 $\hat{\phi}(k)$ 的初值; $y(k), u(k)$ 分别表示AUV执行系统的控制量、传感器的深度信息, $\hat{\phi}(k)$ 为设定步长 $\phi(k)$ 的偏导数, $y^*(k)$ 表示AUV达到目标深度执行系统所需的实际控制量, k 表示离散点; $\Delta y(k+1) = y(k+1) - y(k)$, $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$ 。

3. 根据权利要求2所述的一种所述的一种基于无模型自适应控制定深方法,其特征在于: $\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} \times (\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1) \Delta u(k-1))$ 。

一种基于无模型自适应定深控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及水下机器人技术领域,尤其涉及一种无模型自适应定深控制方法。

背景技术

[0002] 在海洋应用中,水下机器人发挥越来越重要的作用。水下机器人分成两类:一种是遥控式有缆水下机器人(简称ROV),一种是自主水下机器人(简称AUV)。ROV需要水面母船支持,同时受到电缆长度的限制,其作业距离有限,一般只有几百米;而AUV自身携带能源,可以远离母船,活动距离达到几十公里甚至上百公里。所以AUV的研究越来越受到各国的重视,AUV的发展代表了未来水下机器人的发展方向。但是AUV的控制方法比ROV的控制方法复杂,只有设计出好的控制方法才能发挥出AUV强大的作业能力。

[0003] AUV执行地形勘察、管线跟踪都依赖于AUV的路径规划。通常在AUV工作前,获取当前海区的地图,然后根据地图进行规划,当地形起伏不是很大时,可以使用简单的定高模式和定深模式航行,但是对于复杂海区的情况下,这种方式规划出来的路径不能很好的实现任务需求,如果分段规划则费时费力,对于操作AUV的人员是一个很大的挑战,这种简单的方法不适用在复杂的环境下。因此采用无模型自适应定深是一个很有必要的方法。

发明内容

[0004] 针对现有技术中存在的上述不足之处,本发明要解决的技术问题是提供一种基于无模型自适应定深控制(Model Free Adaptive Controller,MFAC)方法,使潜水器在运动过程中,AUV在执行使命时,针对复杂地形,潜水器能够保证探测传感器记录更多的有效数据,同时减少潜水器因为高度造成的扰动。

[0005] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种基于无模型自适应控制定深方法,通过离散时间非线性系统获得AUV执行系统的控制量,实现AUV的深度控制,包括以下步骤:

[0006] 读取传感器的信息,获取AUV当前的深度;

[0007] 根据传感器的信息通过离散时间非线性系统自适应获得AUV执行系统的控制量,用于AUV通过控制量控制执行系统执行动作,使AUV达到目标深度。

[0008] 所述根据传感器的信息通过离散时间非线性系统自适应获得AUV执行系统的控制量通过下式得到:

[0009]

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\eta_k \Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} \times (\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1) \Delta u(k-1)) \quad (14)$$

[0010]

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(1), \hat{\phi}(k) \leq \varepsilon \text{ 或 } |\Delta u(k-1)| \leq \varepsilon \quad (15)$$

[0011]

$$\Delta u(k) = \Delta u(k-1) + \frac{\rho_k \phi(k)}{\lambda + |\phi(k)|^2} [y^*(k+1) - y(k)] \quad (16)$$

[0012] 其中, $\eta_k, \rho_k \in (0, 2)$, 表示步长序列; μ, λ 是权重因子, ε 是常数, $\hat{\phi}(1)$ 是 $\hat{\phi}(k)$ 的初值; $y(k), u(k)$ 分别表示AUV执行系统的控制量、传感器的深度信息, $\hat{\phi}(k)$ 为设定步长 $\phi(k)$ 的偏导数, $y^*(k)$ 表示AUV达到目标深度执行系统所需的实际控制量, k 表示离散点; $\Delta y(k+1) = y(k+1) - y(k)$, $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$ 。

$$[0013] \quad \hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} \times (\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1) \Delta u(k-1))。$$

[0014] 本发明具有以下优点及有益效果:

[0015] 1. 对于潜水器的模型不敏感, 完全可以适用任何潜水器。

[0016] 2. 与简单的路径规划方法比较, 本方法具有更好的性能, 在热液探测环境下更有优势, 更能适应外界环境的改变, 提高了AUV的工作能力。本方法移植方便, 可以适用于各种水下机器人。

附图说明

[0017] 图1为本发明方法流程图。

[0018] 图2为本方法在控制系统的执行图。

具体实施方式

[0019] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0020] 本发明涉及水下机器人技术领域, 尤其涉及提供一种基于无模型自适应定深控制方法, 实现自主水下机器人在变化海洋环境下的自动调整深度的功能, 本发明的硬件要求是一台电脑, 现在是在潜水器内部使用, 依托整个控制系统, 本文的方法只是作为一个模块运行, 使用利用本方法编译的程序, 实时决策潜水器当前的目标深度。

[0021] 如图1所示, 一种基于无模型自适应定深控制方法, 包括以下步骤:

[0022] 读取外部传感器的信息, 获取AUV当前的深度和姿态;

[0023] 根据目标指令和外部信息决策当前的控制策略(阶跃还是保持)。

[0024] 将指令提交给执行系统, 潜水器按照指令执行动作。

[0025] 包括以下步骤:

[0026] 考虑如下形式的SISO离散时间非线性系统:

$$[0027] \quad y(k+1) = f(y(k), y(k-1), \dots, y(k-n_y), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n_u)) \quad (1)$$

[0028] 其中 $y(k), u(k)$ 分别表示系统的输出、输入, $y(k) \in \mathbb{R}^1, u(k) \in \mathbb{R}^1, n_y, n_u$ 分别表示系统阶数。许多非线性模型均能表示为此类模型的特例。为了推导泛模型, 首先做如下假设:

[0029] 假设1.1 (1) 式是输入输出可观测的, 可控制的, 即对某一系统有界的期望输出信号 $y^*(k+1)$, 存在一有界的可行控制输入信号, 使得系统在此控制输入信号的驱动下其输出等于系统的期望输出。

[0030] 假设1.2 $f(\dots)$ 关于系统当前的控制输入信号 $u(k)$ 的偏导数是连续的。

[0031] 假设1.3 系统(1) 式广义Lipschitz的, 即满足对任意的 k 和 $\Delta u \neq 0$, 存在 $b > 0$ 使得

[0032] $|\Delta y(k+1)| \leq b |\Delta u(k)|$

[0033] 式中 $\Delta y(k+1) = y(k+1) - y(k)$, $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$, b 是常数。

[0034] 定理1.1对非线性系统(1)式,满足假设条件1.1~1.3,那么当 $\Delta u \neq 0$ 时,一定存在一个称为伪偏导数(Pseudo-partial-derivative)的量 $\Phi(k)$,使得

[0035] $\Delta y(k+1) = \Phi(k) |\Delta u(k)|$ (2)

[0036] 其中 $\Phi(k) \leq b$, b 是一个常数。式(2)称为系统(1)的泛模型, $\Phi(k)$ 称为特征参量。

[0037] 证明:由(1)式知

[0038] $\Delta y(k+1) = f(y(k), y(k-1), \dots, y(k-n_y), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n_u))$

[0039] $-f(y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n_y-1),$

[0040] $u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-n_u-1))$

[0041] $= f(y(k), y(k-1), \dots, y(k-n_y), u(k), u(k-1), \dots, u(k-n_u))$

[0042] $-f(y(k), y(k-1), \dots, y(k-n_y), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-n_u))$

[0043] $+f(y(k), y(k-1), \dots, y(k-n_y), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-n_u))$

[0044] $-f(y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n_y-1),$

[0045] $u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-n_u-1))$ (3)

[0046] 利用假设1.2及微分中值定理,由(3)式有:

[0047]

$$\Delta y(k+1) = \frac{\partial f^*}{\partial u(k)} \Delta u(k)$$

$+f(y(k), y(k-1), \dots, y(k-n), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-n_u))$

$-f(y(k-1), y(k-2), y(k-n_y-1), u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-n_u-1))$

$$= \frac{\partial f^*}{\partial u(k)} \Delta u(k) + \varepsilon(k) \quad (4)$$

[0048] 式中

[0049] $\varepsilon(k) = f(y(k), y(k-1), \dots, y(k-n_y), u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-n_u))$

[0050] $-f(y(k-1), y(k-2), \dots, y(k-n_y-1), u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-n_u-1))$

[0051] $\frac{\partial f^*}{\partial u(k)}$ 表示 $f(\dots)$ 关于 $u(k)$ 的偏导数,在 $u(k-1)$ 和 $u(k)$ 之间某一点处的值。

[0052] 由于 $\Delta u \neq 0$,故方程

[0053] $\varepsilon(k) = \eta(k) \Delta u(k)$ (5)

[0054] 一定有解 $\eta(k)$ 。

[0055] 令 $\Phi(k) = \frac{\partial f^*}{\partial u(k)} + \eta(k)$ (6)

[0056] 因此方程(4)可以写成

[0057] $\Delta y(k+1) = \Phi(k) \Delta u(k)$ (7)

[0058] 此即定理1.1的表示式。

[0059] 控制输入准则函数:

[0060] $J(u(k)) = [|y^*(k+1) - y(k+1)|^{2+\lambda} |u(k), u(k-1)|^2]$ (8)

[0061] 其中 λ 是加权系数。

[0062] 将式(2)式代入(8)式中,对 $u(k)$ 求导,并令其等于零,得

[0063]

$$\frac{\partial J(u(k))}{\partial u(k)}=0 \quad (9)$$

[0064] 由(9)可得

$$\{y^*(k+1) - y(k) - \phi(k) [u(k) - u(k-1)]\} \cdot [-\phi(k)] + \lambda (u(k) - u(k-1)) = 0 \quad (10)$$

$$u(k) = u(k-1) + \frac{\phi(k)}{\lambda + |\phi(k)|^2} [y^*(k+1) - y(k)] \quad (11)$$

[0067] 参数估计算法:

[0068]

$$J(\phi(k)) = \left[(y^*(k) - y(k-1) - \phi(k)\Delta u(k-1))^2 + \mu (\phi(k) - \hat{\phi}(k-1))^2 \right] \quad (12)$$

[0069] 其中 $y^*(k)$ 表示系统的真实输出。

[0070] 应用与控制律算法相类似的极小化办法,就可以得到如下的伪偏导数估计算法:

[0071]

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} \times (\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1)\Delta u(k-1)) \quad (13)$$

[0072] 其中 μ 是加权系数,其作用与(11)式的 λ 类似。

[0073] 利用上面的参数估计算法及控制律算法,我们就可以给出不依赖于受控系统的参数数学模型的无模型自适应控制方案如下:

[0074]

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(k-1) + \frac{\eta_k \Delta u(k-1)}{\mu + |\Delta u(k-1)|^2} \times (\Delta y(k) - \hat{\phi}(k-1)\Delta u(k-1)) \quad (14)$$

[0075]

$$\hat{\phi}(k) = \hat{\phi}(1), \hat{\phi}(k) \leq \varepsilon \text{ 或 } |\Delta u(k-1)| \leq \varepsilon \quad (15)$$

[0076]

$$\Delta u(k) = \Delta u(k-1) + \frac{\rho_k \phi(k)}{\lambda + |\phi(k)|^2} [y^*(k+1) - y(k)] \quad (16)$$

[0077] 其中 $\eta_k, \rho_k \in (0, 2)$,是步长序列。 μ, λ 是权重因子, ε 是一个充分小的正数, $\hat{\phi}(1)$ 是 $\hat{\phi}(k)$ 的初值。

[0078] 本发明包括以下步骤:

[0079] 1. 潜水器按照路径规划航行。

[0080] 2. 获得外部深度传感器和高度传感器数据。姿态数据:横滚角,航向角,纵倾角;位置数据:经度,纬度,深度,高度。

[0081] 3. 检测当前的深度是否满足工作需要的深度。

[0082] 检测依据如下:

[0083] 依据当前潜水器距底高度是否满足工作范围,默认工作范围为80到120米,潜水器一旦距底高度突破这个界限,则潜水器会自动调整。

[0084] 当潜水器的距底高度小于80米时,潜水器采用上浮的策略,上浮的目标深度依据实际情况决定。

[0085] 当潜水器的距底高度大于120米时,潜水器采用下潜的策略,下潜的目标深度依据实际情况决定。

[0086] 整个潜水器航行过程中都是根据自适应定深进行控制,

[0087] 根据公式(14)-(16),类推获得目标深度。

[0088] 如图2所示,首先初始化某一程序,获得外部传感器数据,获得当前的路径规划,检测是否定深航行,依据外部的数据和路径规划决策目标深度,此时会出现两种情况:1.完全按照软件的设计需求,目标深度合理;2.无模型自适应算法计算的深度符合计算流程,但是计算的目标深度超过潜水器的最大工作深度。

[0089] 针对以上两种情况,分别做出如下处理:

[0090] 第1种情况:满足任务需求;不进行处理。

[0091] 第2种情况:任务不再执行下去,潜水器存在安全风险,结束使命。

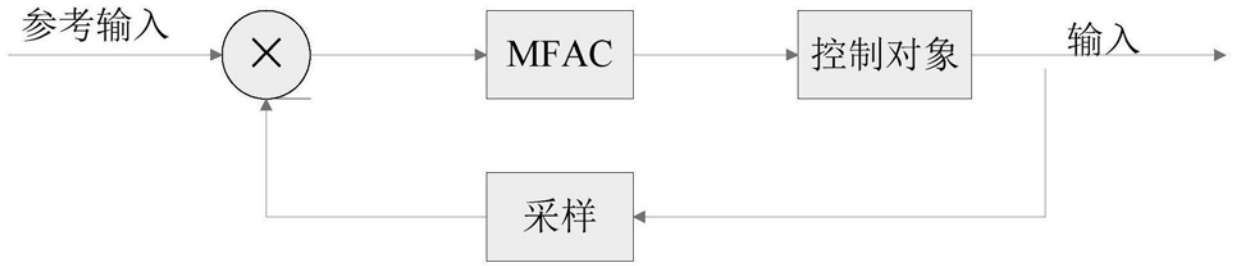


图1

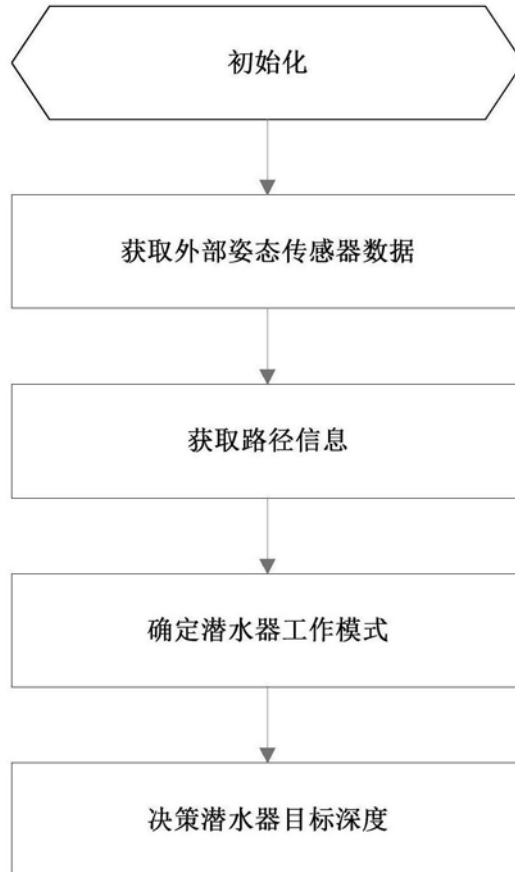


图2