



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106892368 B

(45)授权公告日 2019.01.11

(21)申请号 201510960097.5

(22)申请日 2015.12.17

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106892368 A

(43)申请公布日 2017.06.27

(73)专利权人 中国科学院沈阳自动化研究所
地址 110016 辽宁省沈阳市南塔街114号

(72)发明人 陈琦 张奇峰 张巍 冀萌凡

(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 徐丽

(51) Int. Cl.

B66D 1/48(2006.01)

B66D 1/60(2006.01)

(56)对比文件

CN 104876145 A, 2015.09.02,

US 2007272906 A1, 2007.11.29,

CN 104495672 A, 2015.04.08,

CN 102602840 A, 2012.07.25,

郭圣敏. 深海采矿装置升沉补偿系统模糊自整定PID控制研究.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库》.2007,(第5期),

审查员 柳丽丽

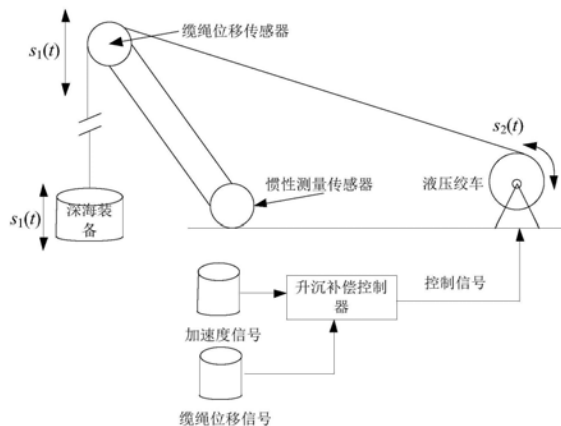
权利要求书3页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法,包括以下步骤:通过二次积分处理测量的母船升沉运动加速度值,得到母船升沉位移信号;将母船升沉位移信号与测量的缆绳收放位移比较,得到升沉补偿装置需要补偿的缆绳位移量和需补偿的缆绳位移量变化率;设计混合模糊P+ID控制器,由输入信号缆绳位移补偿量和缆绳位移补偿量变化率,输出收放绞车的电控比例方向阀控制信号,实现深海装备主动升沉补偿。本发明方法可以直接移植到现有深海装备收放绞车控制系统上,只需安装一个惯性测量传感器和一个缆绳位移传感器,改造成本低,扩展性强。本发明方法用混合模糊P+ID的控制器代替了传统PID的比例项,改善了控制精度,鲁棒性。



CN 106892368 B

1. 一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1:利用惯性测量传感器测量母船升沉运动加速度值 $a(k)$,再经过二次积分得到母船升沉位移信号 $s_1(k)$;

步骤2:利用缆绳位移传感器测量收放绞车缆绳的位移信号 $s_2(k)$;

步骤3:母船升沉位移信号 $s_1(k)$ 与缆绳位移信号 $s_2(k)$ 进行差值运算,得出 k 时刻缆绳位移补偿量 $e(k)$ 及缆绳位移补偿量变化率 $\Delta e(k)$:

$$e(k) = s_1(k) - s_2(k);$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1);$$

步骤4:设计混合模糊P+ID控制器,并将缆绳位移补偿量 $e(k)$ 及缆绳位移补偿量变化率 $\Delta e(k)$ 作为输入信号,输出信号为拖曳绞车的电控比例方向阀控制信号 $u(k)$;

所述混合模糊P+ID控制器为:

$$\Delta u(k) = K_{FP}f(k) + K_I T e(k) - K_D \frac{e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)}{T}$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k),$$

其中, $\Delta u(k)$ 为拖曳绞车的电控比例方向阀控制信号 $u(k)$ 的增量, T 为采样周期, K_I 是积分控制项系数, K_D 是微分控制项系数, K_{FP} 是比例控制项系数; $f(k)$ 是模糊P+ID控制器的输出, $e(k)$ 为 k 时刻缆绳位移补偿量。

2. 根据权利要求1所述的一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法,其特征在于,所述 $f(k)$ 的计算具体包括:

S1:采用模糊隶属度函数(NB,NS,ZO,PS,PB),将混合模糊P+ID控制器的两个输入信号缆绳位移补偿量 $e(k)$ 和缆绳位移补偿量变化率 $\Delta e(k)$,及输出信号 $f(k)$ 同时映射到区间 $[-m,m]$,得到: $e(k)$ 的隶属度 $\mu(e_i(k))$ 、 $\Delta e(k)$ 的隶属度 $\mu(\Delta e_i(k))$;

S2:根据模糊规则库中的规则得到输出变量 $f_i(k)$;

采用MAX-MIN推理方法 $\mu_i(f_i(k)) = \min(\mu(e_i(k)), \mu(\Delta e_i(k)))$ 计算输出信号 $f(k)$ 的隶属度 $\mu_i(f_i(k))$;

S3:采用“center of mass”方法 $f(k) = \sum_{i=1}^N \mu_i(f_i(k)) f_i(k) / \sum_{i=1}^N \mu_i(f_i(k))$ 计算 $f(k)$;

其中, m 为预设正整数;NB、NS均为负整数,且 $NB < NS$;ZO等于零;PS、PB均为正整数,且 $PS < PB$;模糊规则库中有 N 条规则, i 为 N 的索引。

3. 根据权利要求2所述的一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法,其特征在于,所述 $e(k)$ 的隶属度 $\mu(e_i(k))$ 分别为:

(1) $e(k)$ 属于PB取值的隶属度为

$$\mu(e(k)) = \begin{cases} 1, & e(k) \geq m \\ e(k)/(m-n), & n < e(k) < m \\ 0, & e(k) \leq n \end{cases}$$

(2) $e(k)$ 属于PS取值的隶属度为

$$\mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq m \\ |e(k) - n| / n, & 0 < e(k) < m \\ 0, & e(k) \leq 0 \end{cases}$$

(3) $e(k)$ 属于ZO取值的隶属度为

$$\mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq n \\ (n - |e(k)|) / n, & -n < e(k) < n \\ 0, & e(k) \leq -n \end{cases}$$

(4) $e(k)$ 属于NS取值的隶属度为

$$\mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq 0 \\ |e(k) + n| / n, & -m < e(k) < 0 \\ 0, & e(k) \leq -m \end{cases}$$

(5) $e(k)$ 属于NB取值的隶属度为

$$\mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq -n \\ (|e(k)| + n) / n, & -m < e(k) < -n, \\ 1, & e(k) \leq -m \end{cases}$$

其中, $-m < -n < 0 < n < m$, 其中 m 、 n 均为预设正整数。

4. 根据权利要求2所述的一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法, 其特征在于, 所述 $\Delta e(k)$ 的隶属度 $\mu(\Delta e_i(k))$ 分别为:

(1) $\Delta e(k)$ 属于PB取值的隶属度为

$$\mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 1, & \Delta e(k) \geq m \\ (\Delta e(k) - n) / (m - n), & n < \Delta e(k) < m \\ 0, & \Delta e(k) \leq n \end{cases}$$

(2) $\Delta e(k)$ 属于PS取值的隶属度为

$$\mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq m \\ |\Delta e(k) - n| / n, & 0 < \Delta e(k) < m \\ 0, & \Delta e(k) \leq 0 \end{cases}$$

(3) $\Delta e(k)$ 属于ZO取值的隶属度为

$$\mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq n \\ (n - |\Delta e(k)|) / n, & -n < \Delta e(k) < n \\ 0, & \Delta e(k) \leq -n \end{cases}$$

(4) $\Delta e(k)$ 属于NS取值的隶属度为

$$\mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq 0 \\ |\Delta e(k) + n| / n, & -m < \Delta e(k) < 0 \\ 0, & \Delta e(k) \leq -m \end{cases}$$

(5) $\Delta e(k)$ 属于NB取值的隶属度为

$$\mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq -n \\ (|\Delta e(k)| + n) / (m - n), & -m < \Delta e(k) < -n, \\ 1, & \Delta e(k) \leq -m \end{cases}$$

其中, $-m < -n < 0 < n < m$, 其中 m, n 均为预设正整数。

5. 根据权利要求2所述的一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法, 其特征在于, 所述模糊规则库中有25条规则, 分别为:

- $i=1$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NB;
- $i=2$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为NB;
- $i=3$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
- $i=4$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
- $i=5$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为ZO;
- $i=6$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NB;
- $i=7$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
- $i=8$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
- $i=9$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为ZO;
- $i=10$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
- $i=11$ 时: If $e(k)$ 属于ZO并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
- $i=12$ 时: If $e(k)$ 属于ZO并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
- $i=13$ 时: If $e(k)$ 属于ZO并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为ZO;
- $i=14$ 时: If $e(k)$ 属于ZO并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
- $i=15$ 时: If $e(k)$ 属于ZO并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
- $i=16$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
- $i=17$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为ZO;
- $i=18$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
- $i=19$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
- $i=20$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PB;
- $i=21$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为ZO;
- $i=22$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
- $i=23$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
- $i=24$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PB;
- $i=25$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PB。

一种用于深海装备主动升沉补偿的控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及深海装备主动升沉补偿控制系统,具体地说是一种用于拖曳缆绳张力恒定的控制方法。

背景技术

[0002] 深海装备在进行水下作业时,需要保证在水中的位置不变,但是由于母船受到海面波浪起伏的影响,导致母船会进行上下运动,从而拉动深海装备偏移了其工作位置。为了抵消母船的升沉运动对深海装备的影响,需要收放绞车能够具有升沉补偿功能,从而在母船随波浪上下运动时,通过收放缆绳操作维持深海装备在水下的作业位置不变。因此升沉补偿系统在ROV潜器作业和海底采矿作业时发挥了非常重要的作用。

发明内容

[0003] 针对升沉补偿问题,本发明提供一种能实现高效、低成本的控制方法。

[0004] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:一种用于深海装备升沉补偿的控制方法,包括以下步骤:

[0005] 步骤1:利用惯性测量传感器测量母船升沉运动加速度值 $a(k)$,再经过二次积分得到母船升沉位移信号 $s_1(k)$ 。

[0006] 步骤2:利用缆绳位移传感器测量收放绞车缆绳的位移信号 $s_2(k)$;

[0007] 步骤3:母船升沉位移信号 $s_1(k)$ 与缆绳位移信号 $s_2(k)$ 进行差值运算,得出 k 时刻缆绳位移补偿量 $e(k)$ 及缆绳位移补偿量变化率 $\Delta e(k)$:

[0008] $e(k) = s_1(k) - s_2(k)$;

[0009] $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$;

[0010] 步骤4:设计混合模糊P+ID控制器,并将缆绳位移补偿量 $e(k)$ 及缆绳位移补偿量变化率 $\Delta e(k)$ 作为输入信号,输出信号为拖曳绞车的电控比例方向阀控制信号 $u(k)$ 。

[0011] 所述混合模糊P+ID控制器为:

[0012]
$$\Delta u(k) = K_{FP}f(k) + K_I T e(k) - K_D \frac{e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)}{T}$$

[0013] $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$,

[0014] 其中, $\Delta u(k)$ 为拖曳绞车的电控比例方向阀控制信号 $u(k)$ 的增量, T 为采样周期, K_I 是积分控制项系数, K_D 是微分控制项系数, K_{FP} 是比例控制项系数; $f(k)$ 是模糊P+ID控制器的输出, $e(k)$ 为 k 时刻缆绳位移补偿量。

[0015] 所述 $f(k)$ 的计算具体包括:

[0016] S1:采用模糊隶属度函数(NB, N_s , Z0, PS, PB),将混合模糊P+ID控制器的两个输入信号缆绳位移补偿量 $e(k)$ 和缆绳位移补偿量变化率 $\Delta e(k)$,及输出信号 $f(k)$ 同时映射到区间 $[-m, m]$,得到: $e(k)$ 的隶属度 $\mu(e_i(k))$ 、 $\Delta e(k)$ 的隶属度 $\mu(\Delta e_i(k))$;

[0017] S2:根据模糊规则库中的规则得到输出变量 $f_i(k)$;

[0018] 采用MAX-MIN推理方法 $\mu_i(f_i(k)) = \min(\mu(e_i(k)), \mu(\Delta e_i(k)))$ 计算输出信号 $f(k)$ 的隶属度 $\mu_i(f_i(k))$ ：

[0019] S3:采用“center of mass”方法 $f(k) = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_i(f_i(k))f_i(k)}{\sum_{i=1}^N \mu_i(f_i(k))}$ 计算 $f(k)$ ；

[0020] 其中,m为预设正整数;NB、Ns均为负整数,且NB<Ns;Z0等于零;PS、PB均为正整数,且PS<PB;模糊规则库中有N条规则,i为N的索引。

[0021] 所述 $e(k)$ 的隶属度 $\mu(e_i(k))$ 分别为:

[0022] (1) $e(k)$ 属于PB取值的隶属度为

$$[0023] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 1, & e(k) \geq m \\ e(k)/(m-n), & n < e(k) < m \\ 0, & e(k) \leq n \end{cases}$$

[0024] (2) $e(k)$ 属于PS取值的隶属度为

$$[0025] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq m \\ |e(k)-n|/n, & 0 < e(k) < m \\ 0, & e(k) \leq 0 \end{cases}$$

[0026] (3) $e(k)$ 属于Z0取值的隶属度为

$$[0027] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq n \\ (n-|e(k)|)/n, & -n < e(k) < n \\ 0, & e(k) \leq -n \end{cases}$$

[0028] (4) $e(k)$ 属于NS取值的隶属度为

$$[0029] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq 0 \\ |e(k)+n|/n, & -m < e(k) < 0 \\ 0, & e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0030] (5) $e(k)$ 属于NB取值的隶属度为

$$[0031] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq -n \\ (|e(k)|+n)/n, & -m < e(k) < -n, \\ 1, & e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0032] 其中, $-m < -n < 0 < n < m$,其中m、n均为预设正整数。

[0033] 所述 $\Delta e(k)$ 的隶属度 $\mu(\Delta e_i(k))$ 分别为:

[0034] (1) $\Delta e(k)$ 属于PB取值的隶属度为

$$[0035] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 1, & \Delta e(k) \geq m \\ (\Delta e(k)-n)/(m-n), & n < \Delta e(k) < m \\ 0, & \Delta e(k) \leq n \end{cases}$$

[0036] (2) $\Delta e(k)$ 属于PS取值的隶属度为

$$[0037] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq m \\ |\Delta e(k) - n| / n, & 0 < \Delta e(k) < m \\ 0, & \Delta e(k) \leq 0 \end{cases}$$

[0038] (3) $\Delta e(k)$ 属于Z0取值的隶属度为

$$[0039] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq n \\ (n - |\Delta e(k)|) / n, & -n < \Delta e(k) < n \\ 0, & \Delta e(k) \leq -n \end{cases}$$

[0040] (4) $\Delta e(k)$ 属于NS取值的隶属度为

$$[0041] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq 0 \\ |\Delta e(k) + n| / n, & -m < \Delta e(k) < 0 \\ 0, & \Delta e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0042] (5) $\Delta e(k)$ 属于NB取值的隶属度为

$$[0043] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq -n \\ (|\Delta e(k)| + n) / (m - n), & -m < \Delta e(k) < -n, \\ 1, & \Delta e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0044] 其中, $-m < -n < 0 < n < m$, 其中 m, n 均为预设正整数。

[0045] 所述模糊规则库中有25条规则, 分别为:

[0046] $i=1$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NB;

[0047] $i=2$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为NB;

[0048] $i=3$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于Z0, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;

[0049] $i=4$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;

[0050] $i=5$ 时: If $e(k)$ 属于NB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为Z0;

[0051] $i=6$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NB;

[0052] $i=7$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;

[0053] $i=8$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于Z0, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;

[0054] $i=9$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为Z0;

[0055] $i=10$ 时: If $e(k)$ 属于NS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;

[0056] $i=11$ 时: If $e(k)$ 属于Z0并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;

[0057] $i=12$ 时: If $e(k)$ 属于Z0并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;

[0058] $i=13$ 时: If $e(k)$ 属于Z0并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于Z0, 则 $f_i(k)$ 取值为Z0;

[0059] $i=14$ 时: If $e(k)$ 属于Z0并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;

[0060] $i=15$ 时: If $e(k)$ 属于Z0并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;

[0061] $i=16$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;

[0062] $i=17$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为Z0;

[0063] $i=18$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于Z0, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;

[0064] $i=19$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;

[0065] $i=20$ 时:If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB,则 $f_i(k)$ 取值为PB;

[0066] $i=21$ 时:If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB,则 $f_i(k)$ 取值为Z0;

[0067] $i=22$ 时:If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS,则 $f_i(k)$ 取值为PS;

[0068] $i=23$ 时:If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于Z0,则 $f_i(k)$ 取值为PS;

[0069] $i=24$ 时:If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS,则 $f_i(k)$ 取值为PB;

[0070] $i=25$ 时:If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB,则 $f_i(k)$ 取值为PB。

[0071] 本发明具有以下优点及有益效果:

[0072] 1.本发明的控制系统是一种主动式升沉补偿控制系统,与传统的被动式升沉补偿系统相比,具有控制精度高,占用空间小的优点。

[0073] 2.本发明的控制系统可以直接移植到现有被动式恒张力绞车控制系统上,只需安装一个惯性测量传感器和缆绳收放长度传感器,改造成成本低,扩展性强。

[0074] 3.本发明的混合模糊P+ID的控制器的恒张力控制系统,用模糊控制器代替了传统PID的比例项,改善了传统PID在用于液压绞车这类的非线性系统时,控制精度低,鲁棒性差的不足之处,同时保留了传统PID控制器的积分项和微分项,起到了消除稳态误差和改善动态特性的作用。而相比其它模糊PID控制器,本方法只有一个模糊输出变量,简化了模糊规则库及模糊隶属度函数的建立过程。

附图说明

[0075] 图1为本发明方法原理图;

[0076] 图2为本发明方法中模糊隶属度函数示意图。

具体实施方式

[0077] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步的详细说明。

[0078] 如图1所示,本发明将母船升沉位移与缆绳收放位移一同给到控制器输入端,由控制器输出控制信号给到液压阀控马达系统的双向电控比例阀,从而使得绞车通过收放缆绳来补偿母船的升沉位移。

[0079] 步骤一,对母船升沉运动的加速度进行实时检测加速度值 $a(k)$,经过二次积分得到母船升沉位移信号 $s_1(k)$;

[0080] 步骤二,利用缆绳位移传感器测量收放绞车缆绳的位移信号 $s_2(k)$;

[0081] 步骤三,母船升沉位移信号 $s_1(k)$ 与缆绳位移信号 $s_2(k)$ 进行差值运算,得出 k 时刻缆绳位移补偿量 $e(k)$ 及缆绳位移补偿量变化率 $\Delta e(k)$;

[0082] 步骤四,所述基于混合模糊P+ID的恒张力控制方法如下:

[0083] 该模糊控制器有两个输入信号缆绳位移补偿量 $e(k)$ 和缆绳位移补偿量的变化率 $\Delta e(k)$,输出为拖曳绞车的电控比例方向阀控制信号 $u(k)$,控制方程如下:

$$[0084] \quad \Delta u(k) = K_{FP}f(k) + K_I Te(k) - K_D \frac{e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)}{T}$$

$$[0085] \quad u(k) = u(k-1) + \Delta u(k),$$

[0086] 其中, $\Delta u(k)$ 为拖曳绞车的电控比例方向阀控制信号 $u(k)$ 的增量, T 为采样周期, K_I 是积分控制项系数, K_D 是微分控制项系数, K_{FP} 是比例控制项系数; $f(k)$ 是模糊P+ID控制器

的输出, $e(k)$ 为 k 时刻缆绳位移补偿量。

[0087] 为了方便计算, 本方法将输入变量和输出变量同时映射到区间 $[-1, 1]$, 然后采用模糊隶属度函数 (NB, NS, ZO, PS, PB) 将模糊 P+ID 控制器的两个输入缆绳位移补偿量 $e(k)$ 和缆绳位移补偿量的变化率 $\Delta e(k)$, 及输出信号 $f(k)$ 进行模糊处理, 得到: $e(k)$ 的隶属度 $\mu(e_i(k))$ 、 $\Delta e(k)$ 的隶属度 $\mu(\Delta e_i(k))$ 。如图 2 所示为输入变量及输出变量的模糊隶属度函数, NB 代表负大, NS 代表负小, Zero 代表零, PS 代表正小, PB 代表正大。

[0088] 所述 $e(k)$ 的隶属度 $\mu(e_i(k))$ 分别为:

[0089] (1) $e(k)$ 属于 PB 取值的隶属度为

$$[0090] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 1, & e(k) \geq m \\ e(k)/(m-n), & n < e(k) < m \\ 0, & e(k) \leq n \end{cases}$$

[0091] (2) $e(k)$ 属于 PS 取值的隶属度为

$$[0092] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq m \\ |e(k)-n|/n, & 0 < e(k) < m \\ 0, & e(k) \leq 0 \end{cases}$$

[0093] (3) $e(k)$ 属于 ZO 取值的隶属度为

$$[0094] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq n \\ (n-|e(k)|)/n, & -n < e(k) < n \\ 0, & e(k) \leq -n \end{cases}$$

[0095] (4) $e(k)$ 属于 NS 取值的隶属度为

$$[0096] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq 0 \\ |e(k)+n|/n, & -m < e(k) < 0 \\ 0, & e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0097] (5) $e(k)$ 属于 NB 取值的隶属度为

$$[0098] \quad \mu(e(k)) = \begin{cases} 0, & e(k) \geq -n \\ (|e(k)|+n)/n, & -m < e(k) < -n, \\ 1, & e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0099] 其中, $-m < -n < 0 < n < m$, 其中 m, n 均为预设正整数。

[0100] 所述 $\Delta e(k)$ 的隶属度 $\mu(\Delta e_i(k))$ 分别为:

[0101] (1) $\Delta e(k)$ 相对于 PB 取值的隶属度为

$$[0102] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 1, & \Delta e(k) \geq m \\ (\Delta e(k)-n)/(m-n), & n < \Delta e(k) < m \\ 0, & \Delta e(k) \leq n \end{cases}$$

[0103] (2) $\Delta e(k)$ 相对于 PS 取值的隶属度为

$$[0104] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq m \\ |\Delta e(k) - n| / n, & 0 < \Delta e(k) < m \\ 0, & \Delta e(k) \leq 0 \end{cases}$$

[0105] (3) $\Delta e(k)$ 相对于ZO取值的隶属度为

$$[0106] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq n \\ (n - |\Delta e(k)|) / n, & -n < \Delta e(k) < n \\ 0, & \Delta e(k) \leq -n \end{cases}$$

[0107] (4) $\Delta e(k)$ 相对于NS取值的隶属度为

$$[0108] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq 0 \\ |\Delta e(k) + n| / n, & -m < \Delta e(k) < 0 \\ 0, & \Delta e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0109] (5) $\Delta e(k)$ 相对于NB取值的隶属度为

$$[0110] \quad \mu(\Delta e(k)) = \begin{cases} 0, & \Delta e(k) \geq -n \\ (|\Delta e(k)| + n) / (m - n), & -m < \Delta e(k) < -n, \\ 1, & \Delta e(k) \leq -m \end{cases}$$

[0111] 其中, $-m < -n < 0 < n < m$, 其中 m, n 均为预设正整数。

[0112] 则第 i 个规则时, 模糊规则库由输入变量 $e_i(k)$ 、 $\Delta e_i(k)$ 及输出变量 $f_i(k)$ 组成, 可表示为: If $e_i(k)$ is A_i and $\Delta e_i(k)$ is B_i then $f_i(k)$ is C_i ,

[0113] 其中 A_i, B_i 分别为在规则 i 时的输入变量 $e_i(k)$ 、 $\Delta e_i(k)$ 的模糊子集, C_i 为在规则 i 时的输出变量 $f_i(k)$ 的模糊子集; 通过大量仿真和试验的研究, 本文设计的恒张力绞车控制系统包含 25 个规则, i 的取值范围 $i = 1, 2, 3, \dots, 25$ 的整数; 具体规则库见表一所示。根据模糊规则库中的规则得到输出变量 $f_i(k)$;

[0114] 25 个规则如下所示:

[0115] $i = 1$ 时: If $e(k)$ 属于 NB 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 NB, 则 $f_i(k)$ 取值为 NB;

[0116] $i = 2$ 时: If $e(k)$ 属于 NB 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 NS, 则 $f_i(k)$ 取值为 NB;

[0117] $i = 3$ 时: If $e(k)$ 属于 NB 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为 NS;

[0118] $i = 4$ 时: If $e(k)$ 属于 NB 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 PS, 则 $f_i(k)$ 取值为 NS;

[0119] $i = 5$ 时: If $e(k)$ 属于 NB 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 PB, 则 $f_i(k)$ 取值为 ZO;

[0120] $i = 6$ 时: If $e(k)$ 属于 NS 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 NB, 则 $f_i(k)$ 取值为 NB;

[0121] $i = 7$ 时: If $e(k)$ 属于 NS 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 NS, 则 $f_i(k)$ 取值为 NS;

[0122] $i = 8$ 时: If $e(k)$ 属于 NS 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为 NS;

[0123] $i = 9$ 时: If $e(k)$ 属于 NS 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 PS, 则 $f_i(k)$ 取值为 ZO;

[0124] $i = 10$ 时: If $e(k)$ 属于 NS 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 PB, 则 $f_i(k)$ 取值为 PS;

[0125] $i = 11$ 时: If $e(k)$ 属于 ZO 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 NB, 则 $f_i(k)$ 取值为 NS;

[0126] $i = 12$ 时: If $e(k)$ 属于 ZO 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 NS, 则 $f_i(k)$ 取值为 NS;

[0127] $i = 13$ 时: If $e(k)$ 属于 ZO 并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于 ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为 ZO;

- [0128] $i=14$ 时: If $e(k)$ 属于ZO并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
 [0129] $i=15$ 时: If $e(k)$ 属于ZO并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
 [0130] $i=16$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为NS;
 [0131] $i=17$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为ZO;
 [0132] $i=18$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
 [0133] $i=19$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
 [0134] $i=20$ 时: If $e(k)$ 属于PS并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PB;
 [0135] $i=21$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NB, 则 $f_i(k)$ 取值为ZO;
 [0136] $i=22$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于NS, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
 [0137] $i=23$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于ZO, 则 $f_i(k)$ 取值为PS;
 [0138] $i=24$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PS, 则 $f_i(k)$ 取值为PB;
 [0139] $i=25$ 时: If $e(k)$ 属于PB并且变化率 $\Delta e(k)$ 属于PB, 则 $f_i(k)$ 取值为PB。

[0140] 表一

$\Delta e(k) \backslash e(k)$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	ZO
NS	NB	NS	NS	ZO	PS
ZO	NS	NS	ZO	PS	PS
PS	NS	ZO	PS	PS	PB
PB	ZO	PS	PS	PB	PB

[0142] 采用MAX-MIN推理方法得出:

$$[0143] \mu_i(f_i(k)) = \min(\mu(e_i(k)), \mu(\Delta e_i(k)))$$

[0144] 其中, $\mu_i(f_i(k))$ 是输出变量 $f_i(k)$ 的隶属度, $\mu(e_i(k))$ 、 $\mu(\Delta e_i(k))$ 分别是输入变量 $e_i(k)$ 、 $\Delta e_i(k)$ 的隶属度值。

[0145] 解模糊化采用“center of mass”方法。如下所示:

$$[0146] f(k) = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_i(f_i(k)) f_i(k)}{\sum_{i=1}^N \mu_i(f_i(k))},$$

[0147] 其中, $\mu_i(f_i(k))$ 是输出变量 $f_i(k)$ 的隶属度, $f_i(k)$ 是相应的控制器输出变量, N 是规则数量, i 为 N 的索引。通过解模糊化运算可以得到控制变量的精确值, 得出 $f(k)$ 后将其带入模糊P+ID控制器后即可求解出输出到电控液压比例阀的控制变量 $u(k)$ 。

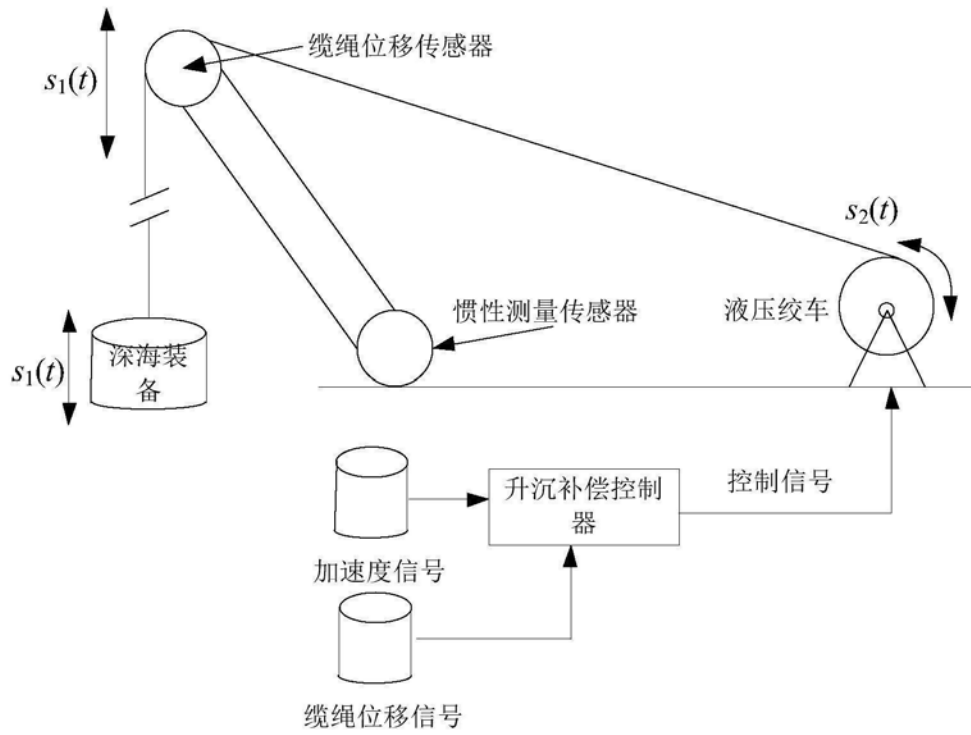


图1

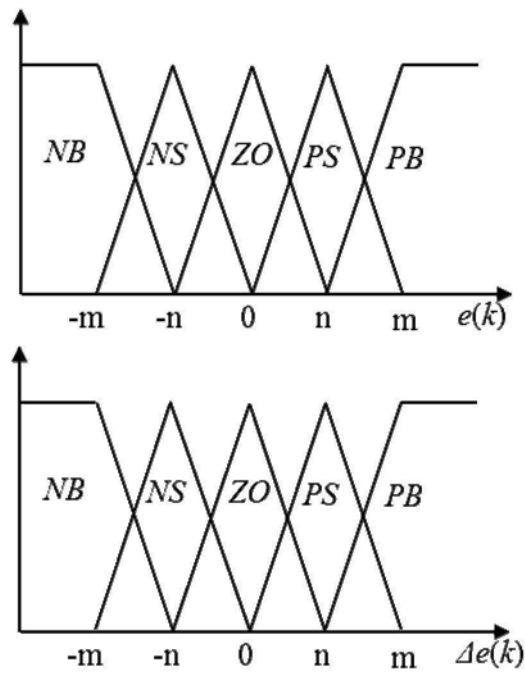


图2