



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113031435 A

(43) 申请公布日 2021.06.25

(21) 申请号 202110151534.4

(22) 申请日 2021.02.03

(71) 申请人 北京航空航天大学

地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72) 发明人 杨凌宇 刘李雷 张晶 夏笠城

(74) 专利代理机构 北京轻创知识产权代理有限公司

11212

代理人 冯瑛琪

(51) Int. Cl.

G05B 13/04 (2006.01)

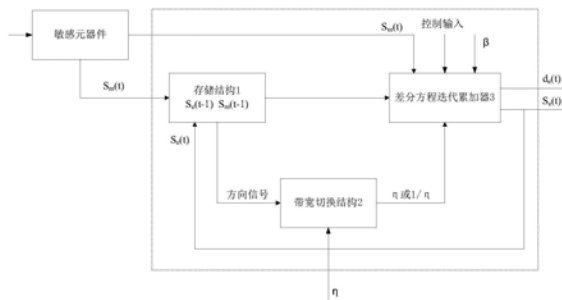
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

数字式双频扩张状态观测器及扰动观测方法

(57) 摘要

本发明公开了数字式双频扩张状态观测器及扰动观测方法,涉及自动控制领域。其存储结构用于根据当前时刻的状态估计值和状态量测值计算得到当前时刻的估计误差,并计算估计误差的方向信号;带宽切换结构用于根据估计误差方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数;差分方程迭代累加器用于将高低带宽切换因子乘以系数对实际带宽进行更新,并输出当前时刻的状态估计值和扰动估计值。本发明适用于系统的自动控制,缓解了普通扩张状态观测器瞬态性能和稳态噪声抑制能力之间的矛盾,易于工程实现和参数调整,计算量和所需要的先验知识与常规扩张状态观测器完全一致,且没有人为引入延迟,占用计算资源少,对硬件的要求较低。



1. 一种数字式双频扩张状态观测器,其特征在于,包括:存储结构、带宽切换结构和差分方程迭代累加器,所述存储结构预先存储有第 $t-1$ 时刻的状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述差分方程迭代累加器输入的第 $t-1$ 时刻的状态估计值 $S_e(t-1)$,其中:

所述存储结构用于根据所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 计算得到第 $t-1$ 时刻的估计误差 $E(t-1)$,并接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$,并发送给所述差分方程迭代累加器;

所述差分方程迭代累加器用于接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$,并根据所述状态量测值 $S_m(t)$ 和实际带宽计算第 t 时刻的状态估计值 $S_e(t)$,并发送给所述存储结构;

所述存储结构还用于根据所述状态估计值 $S_e(t)$ 和所述状态量测值 $S_m(t)$ 计算得到第 t 时刻的估计误差 $E(t)$,并根据所述估计误差 $E(t)$ 和所述估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,并发送给所述带宽切换结构;

所述带宽切换结构用于根据所述方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数;

所述差分方程迭代累加器还用于将所述高低带宽切换因子乘以所述系数对所述实际带宽进行更新,并输出所述状态估计值 $S_e(t)$ 和扰动估计值 $d_e(t)$;

所述存储结构还用于将所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 更新为所述状态量测值 $S_m(t)$ 和所述状态估计值 $S_e(t)$,完成迭代。

2. 根据权利要求1所述的数字式双频扩张状态观测器,其特征在于,所述存储结构具体用于判断所述估计误差 $E(t)$ 相比于所述估计误差 $E(t-1)$ 是否靠近原点,如果所述估计误差 $E(t)$ 相比于所述估计误差 $E(t-1)$ 靠近所述原点,则所述方向信号为1;如果所述估计误差 $E(t)$ 相比于所述估计误差 $E(t-1)$ 远离所述原点,则所述方向信号为-1;

其中,所述原点为预设值。

3. 根据权利要求2所述的数字式双频扩张状态观测器,其特征在于,所述带宽切换结构具体用于判断当所述方向信号取值为1时,得到所述系数为将第 t 时刻的所述实际带宽更新为 $\eta\beta$;判断当所述方向信号取值为-1时,得到所述系数为将第 t 时刻的所述实际带宽更新为 $\beta\eta$ 。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的数字式双频扩张状态观测器,其特征在于,所述高低带宽切换因子的取值范围为 $0.42\sim 1$ 。

5. 一种基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法,其特征在于,所述数字式双频扩张状态观测器包括:存储结构、带宽切换结构和差分方程迭代累加器,所述存储结构预先存储有第 $t-1$ 时刻的状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述差分方程迭代累加器输入的第 $t-1$ 时刻的状态估计值 $S_e(t-1)$,所述扰动观测方法包括:

所述存储结构根据所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 计算得到第 $t-1$ 时刻的估计误差 $E(t-1)$,并接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$;

所述差分方程迭代累加器接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$,并根据所述状态量测值 $S_m(t)$ 和实际带宽计算第 t 时刻的状态估计值 $S_e(t)$,并发送给所述存储结构;

所述存储结构根据所述状态估计值 $S_e(t)$ 和所述状态量测值 $S_m(t)$ 计算得到第 t 时刻的估计误差 $E(t)$,并根据所述估计误差 $E(t)$ 和所述估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,并发送给所述带宽切换结构;

所述带宽切换结构根据所述方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数；

所述差分方程迭代累加器将所述高低带宽切换因子乘以所述系数对所述实际带宽进行更新,并输出所述状态估计值 $S_e(t)$ 和扰动估计值 $d_e(t)$ ；

所述存储结构将所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 更新为所述状态量测值 $S_m(t)$ 和所述状态估计值 $S_e(t)$,完成迭代。

6.根据权利要求5所述的基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法,其特征在于,根据所述估计误差 $E(t)$ 和所述估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,具体包括:

所述存储结构判断所述估计误差 $E(t)$ 相比于所述估计误差 $E(t-1)$ 是否靠近原点,如果所述估计误差 $E(t)$ 相比于所述估计误差 $E(t-1)$ 靠近所述原点,则所述方向信号为1;如果所述估计误差 $E(t)$ 相比于所述估计误差 $E(t-1)$ 远离所述原点,则所述方向信号为-1;

其中,所述原点为预设值。

7.根据权利要求6所述的基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法,其特征在于,所述带宽切换结构根据所述方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数,具体包括:

所述带宽切换结构判断当所述方向信号取值为1时,得到所述系数为将第 t 时刻的所述实际带宽更新为 $\eta\beta$;判断当所述方向信号取值为-1时,得到所述系数为将第 t 时刻的所述实际带宽更新为 $\beta\eta$ 。

8.根据权利要求5至7中任一项所述的基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法,其特征在于,所述高低带宽切换因子的取值范围为0.42~1。

9.一种数字式双频扩张状态观测器芯片,其特征在于,所述数字式双频扩张状态观测器芯片上集成有如权利要求1至4中任一项所述的数字式双频扩张状态观测器。

10.一种电子设备,其特征在于,包括如权利要求1至4中任一项所述的数字式双频扩张状态观测器,或包括如权利要求9所述的数字式双频扩张状态观测器芯片,或使用如权利要求1至4中任一项所述的数字式双频扩张状态观测器进行扰动观测,或使用如权利要求5至8中任一项所述的基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法进行扰动观测。

数字式双频扩张状态观测器及扰动观测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及自动控制领域,尤其涉及一种数字式双频扩张状态观测器及扰动观测方法。

背景技术

[0002] 在自动控制系统中,被控设备或对象的不确定性以及所受到的外部扰动直接影响自动控制系统的控制精度,采用观测器或估计器对扰动进行实时估计可以有效提升控制系统的性能。

[0003] 现有扩张状态观测器主要面临的问题是:在有量测噪声情况下,其观测性能会受到很大影响。目前常用的扩张状态观测器大部分是基于带宽法设计的线性扩张状态观测器,由于估计瞬态和稳态性能和带宽成正比,所以其实际实现一般是一个高增益环节。但是带观测系统输出一般被噪声所污染,高增益环节会大幅放大量测信号中的噪声污染,单纯地增大观测器的带宽无法在瞬态快速性和稳态噪声抑制能力之间达成很好的折中。

[0004] 然而,现有应对量测噪声的扩张观测器设计方法主要是基于先验知识对带宽进行调整,然而对于复杂公开或未知快变系统,难以获取先验知识,如无法解决这一问题,扩张观测器的性能会受到较大的影响,特别是利用估计信号设计控制律控制快时变系统时,观测误差会严重影响闭环系统的控制效果。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是针对现有技术的不足,提供一种数字式双频扩张状态观测器及扰动观测方法,主要面向自动控制,尤其是高精度数字式控制领域,如运动体控制、温度控制、高精度位置、轨迹控制等,用于解决带量测噪声动态控制系统的快/慢变复合扰动的在线估计,其具有离散型结构,可通过控制芯片或计算机实现。

[0006] 本发明解决上述技术问题的技术方案如下:

[0007] 一种数字式双频扩张状态观测器,包括:存储结构、带宽切换结构和差分方程迭代累加器,所述存储结构预先存储有第 $t-1$ 时刻的状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述差分方程迭代累加器输入的第 $t-1$ 时刻的状态估计值 $S_e(t-1)$,其中:

[0008] 所述存储结构用于根据所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 计算得到第 $t-1$ 时刻的估计误差 $E(t-1)$,并接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$;

[0009] 所述差分方程迭代累加器用于接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$,并根据所述状态量测值 $S_m(t)$ 和实际带宽计算第 t 时刻的状态估计值 $S_e(t)$,并发送给所述存储结构;

[0010] 所述存储结构还用于根据所述状态估计值 $S_e(t)$ 和所述状态量测值 $S_m(t)$ 计算得到第 t 时刻的估计误差 $E(t)$,并根据所述估计误差 $E(t)$ 和所述估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,并发送给所述带宽切换结构;

[0011] 所述带宽切换结构用于根据所述方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数;

[0012] 所述差分方程迭代累加器还用于将所述高低带宽切换因子乘以所述系数对所述实际带宽进行更新,并输出所述状态估计值 $S_e(t)$ 和扰动估计值 $d_e(t)$;

[0013] 所述存储结构还用于将所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 更新为所述状态量测值 $S_m(t)$ 和所述状态估计值 $S_e(t)$,完成迭代。

[0014] 本发明解决上述技术问题的另一种技术方案如下:

[0015] 一种基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法,所述数字式双频扩张状态观测器包括:存储结构、带宽切换结构和差分方程迭代累加器,所述存储结构预先存储有第 $t-1$ 时刻的状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述差分方程迭代累加器输入的第 $t-1$ 时刻的状态估计值 $S_e(t-1)$,所述扰动观测方法包括:

[0016] 所述存储结构根据所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 计算得到第 $t-1$ 时刻的估计误差 $E(t-1)$,并接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$;

[0017] 所述差分方程迭代累加器接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$,并根据所述状态量测值 $S_m(t)$ 和实际带宽计算第 t 时刻的状态估计值 $S_e(t)$,并发送给所述存储结构;

[0018] 所述存储结构根据所述状态估计值 $S_e(t)$ 和所述状态量测值 $S_m(t)$ 计算得到第 t 时刻的估计误差 $E(t)$,并根据所述估计误差 $E(t)$ 和所述估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,并发送给所述带宽切换结构;

[0019] 所述带宽切换结构根据所述方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数;

[0020] 所述差分方程迭代累加器将所述高低带宽切换因子乘以所述系数对所述实际带宽进行更新,并输出所述状态估计值 $S_e(t)$ 和扰动估计值 $d_e(t)$;

[0021] 所述存储结构将所述状态量测值 $S_m(t-1)$ 和所述状态估计值 $S_e(t-1)$ 更新为所述状态量测值 $S_m(t)$ 和所述状态估计值 $S_e(t)$,完成迭代。

[0022] 本发明解决上述技术问题的另一种技术方案如下:

[0023] 一种数字式双频扩张状态观测器芯片,所述数字式双频扩张状态观测器芯片上集成有如上述技术方案所述的数字式双频扩张状态观测器。

[0024] 本发明解决上述技术问题的另一种技术方案如下:

[0025] 一种电子设备,包括如上述技术方案所述的数字式双频扩张状态观测器,或包括如上述技术方案所述的数字式双频扩张状态观测器芯片,或使用如上述技术方案所述的数字式双频扩张状态观测器进行扰动观测,或使用如上述技术方案所述的基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法进行扰动观测。

[0026] 本发明的有益效果是:本发明提供的数字式双频扩张状态观测器,适用于自动控制领域,尤其是快时变系统或复杂工况下的自动控制,通过计算估计误差的方向信号,根据方向信号实现高低增益的高频切换,缓解了普通扩张状态观测器瞬态性能和稳态噪声抑制能力之间的矛盾,可用于在线高精度估计系统所受到的未知复合扰动。此外,本方案不需要事先获取噪声的统计学特性和扰动的动态模型,避免了取值不合适可能带来的观测器性能下降的问题,相比于线性扩张状态观测器,仅增加了一个设计参数,易于工程实现和参数调整,计算量和所需要的先验知识与常规扩张状态观测器完全一致,且没有人为引入延迟,还可以适用于实时性要求较高的系统。并且,双频扩张状态观测器一次迭代中,复杂度最高的运算为一次乘法运算,相比于现有技术中的自适应带宽调整的算法,占用计算资源少,对硬

件的要求较低,在同样的平台上可实现较高的解算频率以保证估计精度。

[0027] 本发明附加的方面的优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明实践了解到。

附图说明

[0028] 图1为本发明基于数字式双频扩张状态观测器的实施例提供的结构框架示意图;

[0029] 图2为本发明基于数字式双频扩张状态观测器的实施例提供的非线性反馈增益与误差方向关系示意图;

[0030] 图3为本发明扰动观测方法的实施例提供的流程示意图;

[0031] 图4为本发明数字式双频扩张状态观测器芯片的实施例提供的结构示意图。

具体实施方式

[0032] 以下结合附图对本发明的原理和特征进行描述,所举实施例只用于解释本发明,并非用于限定本发明的范围。

[0033] 观测器的输入信号为各种传感器的量测值以及闭环系统的控制输入,不论采用何种型号的敏感元件,量测信号在包含估计未知扰动所需要信息的同时也不可避免地会受到噪声的污染。本发明公开的观测器就是利用仅有切换因子 η 和基本带宽 β 两个可调参数的简单结构实现存在量测噪声情况下对状态量和未知扰动的同时准确估计,假设第 t 时刻实际的扰动值为 $d(t)$,那么第 t 时刻未知扰动估计值可以为 $d_e(t)$ 。

[0034] 如图1所示,为本发明基于数字式双频扩张状态观测器的实施例提供的结构框架示意图,该数字式双频扩张状态观测器包括:存储结构1、带宽切换结构2和差分方程迭代累加器3,存储结构1预先存储有第 $t-1$ 时刻的状态量测值 $S_m(t-1)$ 和差分方程迭代累加器3输入的第 $t-1$ 时刻的状态估计值 $S_e(t-1)$,其中:

[0035] 存储结构1用于根据状态量测值 $S_m(t-1)$ 和状态估计值 $S_e(t-1)$ 计算得到第 $t-1$ 时刻的估计误差 $E(t-1)$,并接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$;

[0036] 差分方程迭代累加器3用于接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$,并根据状态量测值 $S_m(t)$ 和实际带宽计算第 t 时刻的状态估计值 $S_e(t)$,并发送给存储结构1;

[0037] 存储结构1还用于根据状态估计值 $S_e(t)$ 和状态量测值 $S_m(t)$ 计算得到第 t 时刻的估计误差 $E(t)$,并根据估计误差 $E(t)$ 和估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,并发送给带宽切换结构2;

[0038] 带宽切换结构2用于根据方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数;

[0039] 差分方程迭代累加器3还用于将高低带宽切换因子乘以系数对实际带宽进行更新,并输出状态估计值 $S_e(t)$ 和扰动估计值 $d_e(t)$;

[0040] 存储结构1还用于将状态量测值 $S_m(t-1)$ 和状态估计值 $S_e(t-1)$ 更新为状态量测值 $S_m(t)$ 和状态估计值 $S_e(t)$,完成迭代,通过每次迭代完成后当前值覆盖上一个时刻的值,可以减少内存占用,便于低成本实现。

[0041] 需要说明的是,估计误差的方向信号是为整个扩张状态观测器引入的额外信息,是实现带宽切换的关键所在,方向信号取决于当前时刻估计误差相比于上一时刻估计误差相对于原点的位置,例如,其取值可以为1或者-1,如果当前时刻得估计误差更靠近原点,当

前时刻的方向信号为1,否则为-1,其中,原点是预设的位置。

[0042] 高低带宽切换因子可以预先设定,高低带宽的比值为高低带宽切换因子平方的倒数,其取值越小,切换前后系统的带宽差别越大,反之越接近1,高低带宽的切换不再明显,观测器退化为普通的线性扩张状态观测器。

[0043] 在最开始时,需要为差分方程迭代累加器3设定一个基本带宽,本发明的扩张状态观测器的基本带宽定义类似于普通的扩张状态观测器,其设计方法可以采用与普通的扩张状态观测器类似的方法,可以事先分析系统可能的控制信号频率区间,选取的基本带宽 β 只需要大致包含这个区间即可,本质上是将观测器的极点配置到复平面上的某个给定位置。由于本发明的扩张状态观测器具有切换的性质,其实际带宽在基本带宽附近依据估计误差方向进行切换。具体切换方式可以根据实际需求设置,在此不再赘述。

[0044] 此外,大部分物理模型都有一个理论近似的数学描述,这种描述可以当成一个名义模型,名义模型的参数矩阵就是本实施例体提的双频扩张状态观测器的标称模型矩阵,建模误差在扩张状态观测器问题中可以看成是总扰动,为一个待估计变量。

[0045] 应理解,干扰不仅包括未建模内扰还包括未知外扰,可以看成是施加在名义模型上的一个未知输入,这一定义于普通的扩张状态观测器完全一致。由于总扰动无法直接测量,因此,本方案中的估计误差指的是状态量估计值与量测值之间的误差,扩张状态观测器完全由这个误差驱动。

[0046] 差分方程迭代累加器3的参数由标称模型确定,具体取值对于观测器的影响不大,只要保证状态转移矩阵与单位向量构成的矩阵对满足可观测性条件即可,对于常见的动力学系统,该条件都能满足。

[0047] 下面以室内温度模型为例,对差分方程迭代累加器3进行说明。

[0048] 不考虑加热器和室外环境以外的其他热源,理想情况下室内温度的动态模型是:

$$[0049] \quad T(k+1) = \lambda T(k) + UI(k) \Delta t + f(k)$$

[0050] 其中, k 为时刻, $f(k)$ 可以理解为电压波动带来的未知扰动 $\Delta UI(k) \Delta t$,而 $\lambda T(k)$ 则可看成是由于室内外温差引起的热量交换现象。由于 $f(k)$ 未知,室温的标称模型为 $T(k+1) = \lambda T(k) + UI(k) \Delta t$,构建高性能观测器的本质就是依据一个标称数学模型找一个可数值实现的动态模型,其输出能够快速地收敛期望的量,这里就是温度 $T(k)$ 和未知扰动 $f(k)$ 。由于数学模型本身是离散的,利用数值方法解差分方程就是一个不断迭代累加的过程。

[0051] 扩张状态观测器同时受到控制输入信号和状态估计误差驱动,控制输入信号为闭环系统的标称输入指令,实际输入信号可能包含不确定扰动。高低切换的带宽通过调整状态估计误差的增益对观测器产生影响,不同的带宽代表不同的增益,对应于图2中直线的斜率 k_1 与 k_2 ,图2为一种示例性的非线性反馈增益与误差方向的关系,其中, K 为非线性反馈, E 为估计误差。

[0052] 应理解,若要增强观测器的切换效果,可将切换因子始终固定在下界,此时双频扩张状态观测器的待设计参数个数和传统的线性扩张状态观测器相同,其参数整定方法可以完全参考传统设计方法。

[0053] 应理解,带宽切换结构2和差分方程迭代累加器3都可以通过编程实现其功能,在此不再赘述。

[0054] 本实施例提供的数字式双频扩张状态观测器,适用于自动控制领域,尤其是快时

变系统或复杂工况下的自动控制,通过计算估计误差的方向信号,根据方向信号实现高低增益的高频切换,缓解了普通扩张状态观测器瞬态性能和稳态噪声抑制能力之间的矛盾,可用于在线高精度估计系统所受到的未知复合扰动。此外,本方案不需要事先获取噪声的统计学特性和扰动的动态模型,避免了取值不合适可能带来的观测器性能下降的问题,相比于线性扩张状态观测器,仅增加了一个设计参数,易于工程实现和参数调整,计算量和所需要的先验知识与常规扩张状态观测器完全一致,且没有人为引入延迟,还可以适用于实时性要求较高的系统。并且,双频扩张状态观测器一次迭代中,复杂度最高的运算为一次乘法运算,相比于现有技术中的自适应带宽调整的算法,占用计算资源少,对硬件的要求较低,在同样的平台上可实现较高的解算频率以保证估计精度。

[0055] 可选地,在一些可能的实施方式中,存储结构1具体用于判断估计误差 $E(t)$ 相比于估计误差 $E(t-1)$ 是否靠近原点,如果估计误差 $E(t)$ 相比于估计误差 $E(t-1)$ 靠近原点,则方向信号为1;如果估计误差 $E(t)$ 相比于估计误差 $E(t-1)$ 远离原点,则方向信号为-1;

[0056] 其中,原点为预设值。

[0057] 例如,以温度为例,假设原点为0,室内温度可建模成一个差分方程表示的标称动态系统和未知扰动两部分,系统的输入为电流,输入电流和当前时刻的室内温度都可以通过传感器测得。假设存储设备中上一个测量时刻的室内温度为20度,上一个时刻估计温度为19度,当前时刻测量温度为21度,扩张状态观测器的估计温度为21.5度。两个时刻的估计误差绝对值分别为1度和0.5度,这说明误差当前时刻向靠近原点方向移动,于是方向取为+1。

[0058] 又例如,假设存储设备中上一个测量时刻的室内温度为20度,上一个时刻估计温度为19度,当前时刻测量温度为23度,扩张状态观测器的估计温度为21.5度。两个时刻的估计误差绝对值分别为1度和1.5度,这说明误差当前时刻向远离原点方向移动,于是方向取为-1。

[0059] 可选地,在一些可能的实施方式中,带宽切换结构2具体用于判断当方向信号取值为1时,得到系数为将第 t 时刻的实际带宽更新为 $\eta\beta$;判断当方向信号取值为-1时,得到系数为将第 t 时刻的实际带宽更新为 β/η 。

[0060] 可以看到带宽切换结构2本质上是一次乘法运算,其输入为误差的方向,输出为带宽切换的倍数,其随误差变化的图像如图2所示。该结构通过引入误差的方向信息改善了普通线性扩张状态观测器的性能。假设系统受到突发大扰动的影响,观测器存在一个瞬态过程,扰动初始阶段误差不断增大,或者说误差方向偏离原点,此时观测器会切换到大增益改善瞬态过程。在稳态时,由于噪声具有随机性,误差的方向也是随机的,此时带宽也随机切换,高低带宽高频切换,等效带宽低于高带宽,以避免高带宽对噪声污染的放大效果。

[0061] 可选地,在一些可能的实施方式中,高低带宽切换因子的取值范围为0.42~1。

[0062] 应理解,切换因子越小越能体现切换的作用,但是过小可能会引起观测器的剧烈震荡甚至发散,由于取值区间0.42到1是一个比较保守的稳定范围,在取值0.42时基本能保持系统的稳定。若要抑制抖动,可以相应地增大 η ,此时观测器的瞬态性能会有所下降,但其性能还是优于普通的扩张状态观测器。

[0063] 可以理解,在一些实施例中,可以包含如上述各实施方式中的部分或全部。

[0064] 如图3所示,为本发明扰动观测方法的实施例提供的流程示意图,该扰动观测方法

基于上述实施例公开的数字式双频扩张状态观测器实现,数字式双频扩张状态观测器包括:存储结构、带宽切换结构和差分方程迭代累加器,存储结构预先存储有第 $t-1$ 时刻的状态量测值 $S_m(t-1)$ 和差分方程迭代累加器输入的第 $t-1$ 时刻的状态估计值 $S_e(t-1)$,扰动观测方法包括:

[0065] S1,存储结构根据状态量测值 $S_m(t-1)$ 和状态估计值 $S_e(t-1)$ 计算得到第 $t-1$ 时刻的估计误差 $E(t-1)$,并接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$;

[0066] S2,差分方程迭代累加器接收外部设备输入的第 t 时刻的状态量测值 $S_m(t)$,并根据状态量测值 $S_m(t)$ 和实际带宽计算第 t 时刻的状态估计值 $S_e(t)$,并发送给存储结构;

[0067] S3,存储结构根据状态估计值 $S_e(t)$ 和状态量测值 $S_m(t)$ 计算得到第 t 时刻的估计误差 $E(t)$,并根据估计误差 $E(t)$ 和估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,并发送给带宽切换结构;

[0068] S4,带宽切换结构根据方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数;

[0069] S5,差分方程迭代累加器将高低带宽切换因子乘以该系数对实际带宽进行更新,并输出状态估计值 $S_e(t)$ 和扰动估计值 $d_e(t)$;

[0070] S6,存储结构将状态量测值 $S_m(t-1)$ 和状态估计值 $S_e(t-1)$ 更新为状态量测值 $S_m(t)$ 和状态估计值 $S_e(t)$,完成迭代。

[0071] 本实施例提供的扰动观测方法,适用于自动控制领域,尤其是快时变系统或复杂工况下的自动控制,通过计算估计误差的方向信号,根据方向信号实现高低增益的高频切换,缓解了普通扩张状态观测器瞬态性能和稳态噪声抑制能力之间的矛盾,可用于在线高精度估计系统所受到的未知复合扰动。此外,本方案不需要事先获取噪声的统计学特性和扰动的动态模型,避免了取值不合适可能带来的观测器性能下降的问题,相比于线性扩张状态观测器,仅增加了一个设计参数,易于工程实现和参数调整,计算量和所需要的先验知识与常规扩张状态观测器完全一致,且没有人为引入延迟,还可以适用于实时性要求较高的系统。并且,双频扩张状态观测器一次迭代中,复杂度最高的运算为一次乘法运算,相比于现有技术中的自适应带宽调整的算法,占用计算资源少,对硬件的要求较低,在同样的平台上可实现较高的解算频率以保证估计精度。

[0072] 可选地,在一些可能的实施方式中,根据估计误差 $E(t)$ 和估计误差 $E(t-1)$ 得到估计误差的方向信号,具体包括:

[0073] 存储结构判断估计误差 $E(t)$ 相比于估计误差 $E(t-1)$ 是否靠近原点,如果估计误差 $E(t)$ 相比于估计误差 $E(t-1)$ 靠近原点,则方向信号为1;如果估计误差 $E(t)$ 相比于估计误差 $E(t-1)$ 远离原点,则方向信号为-1;

[0074] 其中,原点为预设值。

[0075] 可选地,在一些可能的实施方式中,带宽切换结构根据方向信号判断预设的高低带宽切换因子的系数,具体包括:

[0076] 带宽切换结构判断当方向信号取值为1时,得到系数为将第 t 时刻的实际带宽更新为 $\eta\beta$;判断当方向信号取值为-1时,得到系数为将第 t 时刻的实际带宽更新为 β/η 。

[0077] 可选地,在一些可能的实施方式中,高低带宽切换因子的取值范围为 $0.42\sim 1$ 。

[0078] 可以理解,在一些实施例中,可以包含如上述各实施方式中的部分或全部。

[0079] 需要说明的是,上述各实施方式是与在先产品实施例对应的方法实施例,对于方

法实施方式的说明可以参考上述各产品实施方式中的对应说明,在此不再赘述。

[0080] 如图4所示,为本发明数字式双频扩张状态观测器芯片的实施例提供的结构示意图,数字式双频扩张状态观测器可以单独计算芯片的方式(独立)或作为一个子模块集成于控制芯片(组合)的方式工作,数字式双频扩张状态观测器芯片上集成有如上述任意实施方式公开的数字式双频扩张状态观测器。

[0081] 可选地,标称模型矩阵 A/B 、带噪声量测信号 S_m 、控制输入 u 、基本带宽 β 、切换因子 η 可以通过芯片的I/O接口输入,状态估计值 S_e 和扰动估计值 d_e 可以通过芯片的I/O接口输出。

[0082] 本发明还提供一种电子设备,包括如上述任意实施方式公开的数字式双频扩张状态观测器,或包括如上述任意实施方式公开的数字式双频扩张状态观测器芯片,或使用如上述任意实施方式公开的数字式双频扩张状态观测器进行扰动观测,或使用如上述任意实施方式公开的基于数字式双频扩张状态观测器的扰动观测方法进行扰动观测。

[0083] 例如,电子设备可以为运动体控制设备、温度控制设备、高精度位置控制设备、轨迹控制设备等。

[0084] 读者应理解,在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0085] 在本申请所提供的几个实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的方法实施例仅仅是示意性的,例如,步骤的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个步骤可以结合或者可以集成到另一个步骤,或一些特征可以忽略,或不执行。

[0086] 上述方法如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分,或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备)执行本发明各个实施例方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0087] 以上,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到各种等效的修改或替换,这些修改或替换都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求要求的保护范围为准。

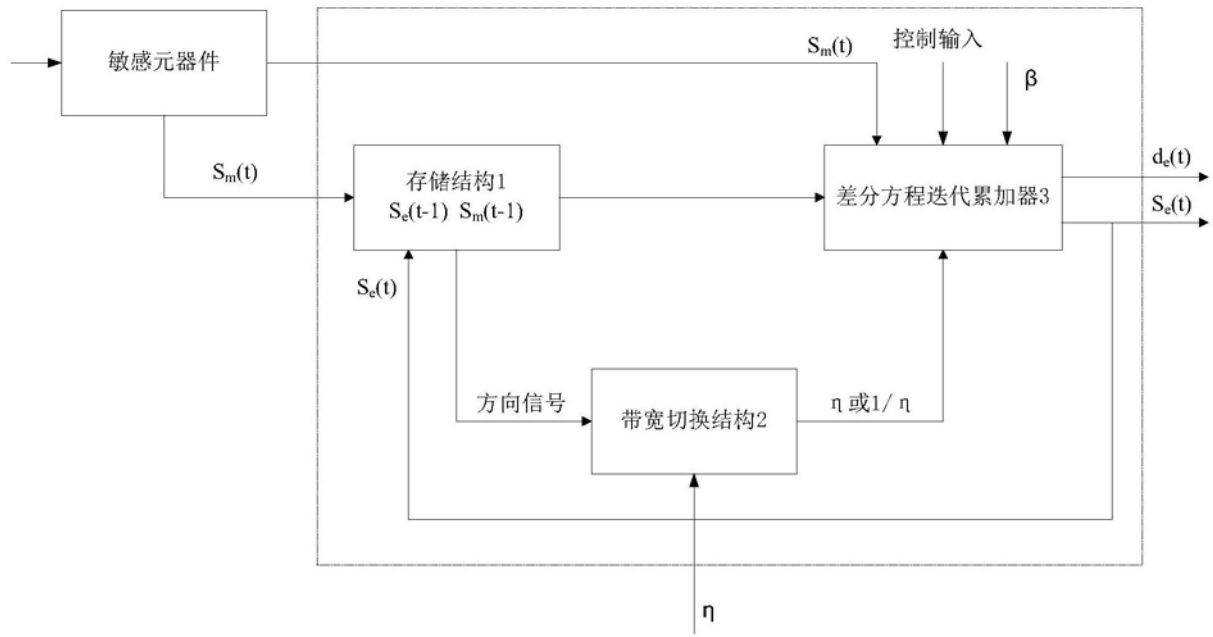


图1

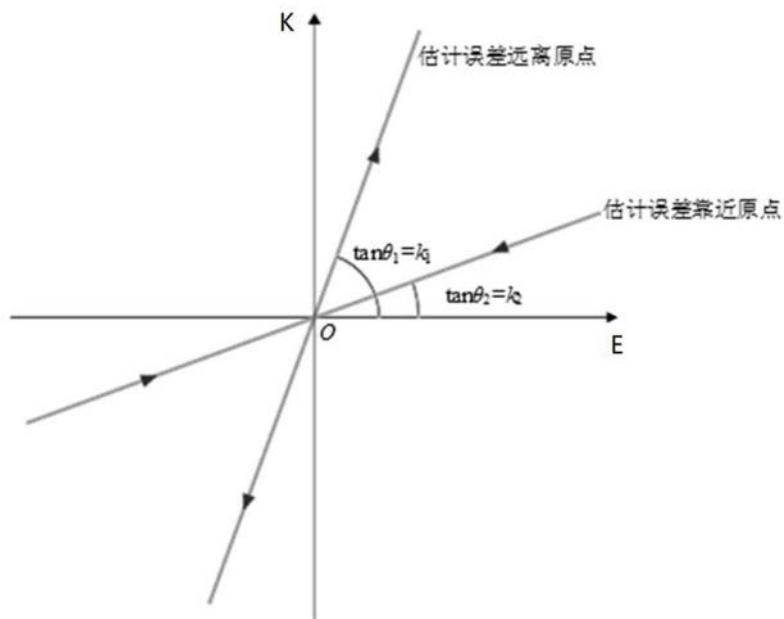


图2

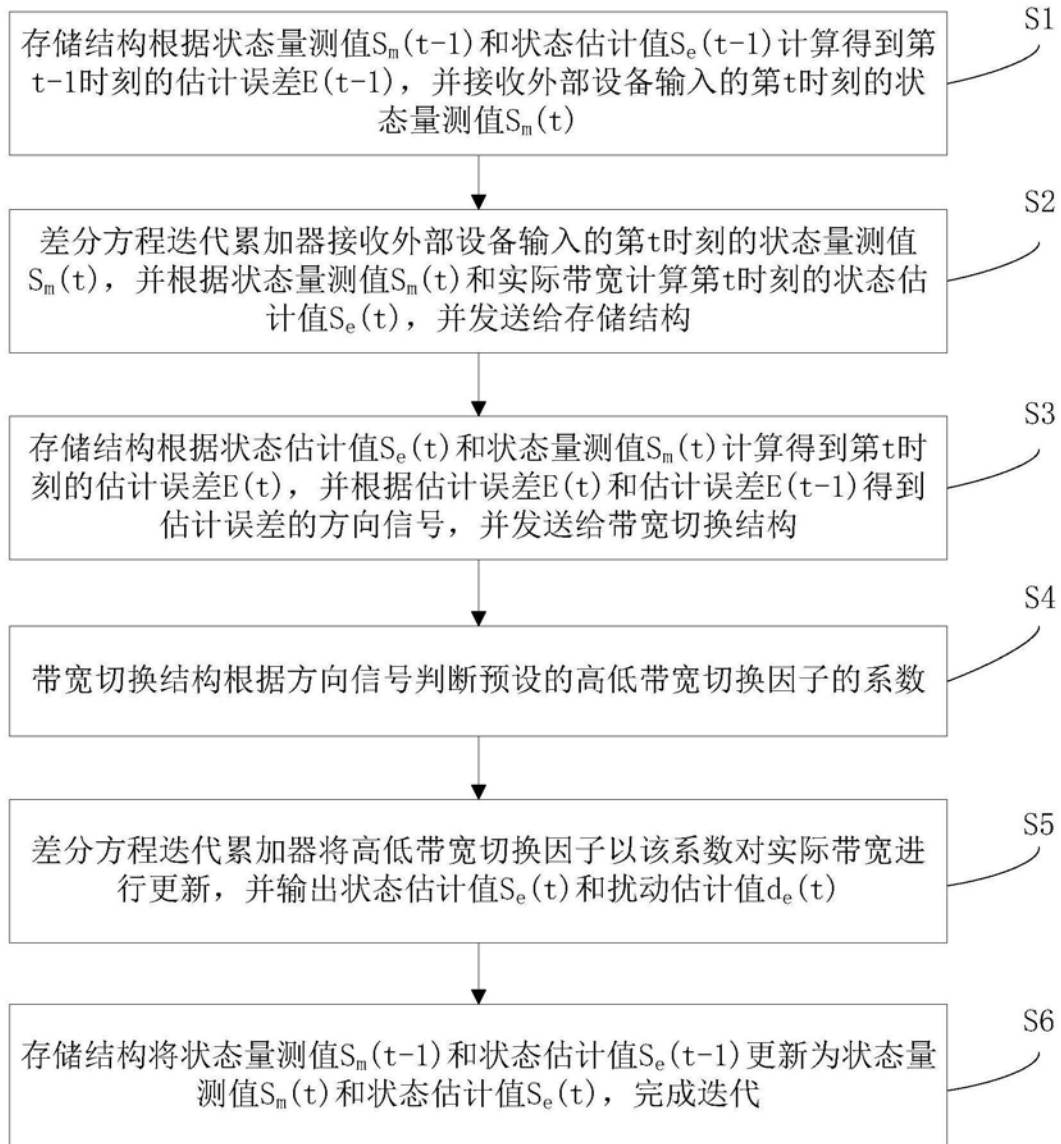


图3

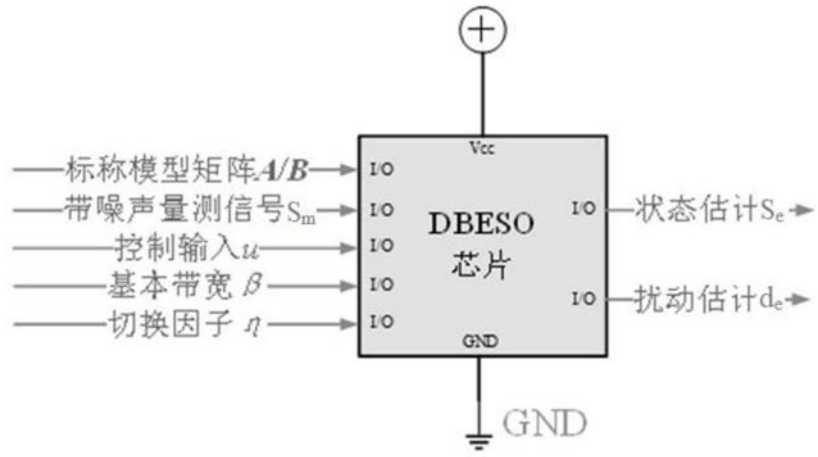


图4