

Tornambe 型非线性鲁棒控制器及参数整定方法、系统

技术领域

[0001] 本发明涉及工业过程控制领域,特别涉及一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法、一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定系统、以及一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器。

背景技术

[0002] 在目前的工业过程控制中,PID(Proportion-Integration-Differentiation) 调节控制器及改进型 PID 控制器由于具有结构简单、设计方便、效果相对较优等优点,在实际工业控制中得到广泛的应用。但是它仍存在一些问题,其一,快速性和准确性不能很好的统一。对于一个实际系统来说,往往希望在控制器的作用下,能“又快又好”达到控制目标,但是 PID 控制器在这一点上是相互矛盾的。若优先快速性,就会使得控制结果产生较大超调量,从而使得准确性指标不能令人满意,这是很多工业现场不允许甚至是被杜绝的;若优先准确性,往往会以牺牲更多过渡时间为代价。其二,PID 控制器抗扰动性能比较差。当被控对象被外部干扰信号或系统噪声影响的时候,PID 控制器的抵抗系统不确定因素的能力就比较差,就需要重新调节 PID 控制器的参数。因此,PID 控制器已经越来越不能满足现代化工业控制的需求。此外,PID 调节控制器对模型的精确程度要求较高,鲁棒性能差,不能很好地消除模型不确定性和外部扰动带来的影响。

[0003] 为了消除不确定性和扰动带来的影响,提高系统的控制性能,国内外学者进行了大量的研究工作。意大利学者 Tornambe 提出了一种基于积分器补偿被控对象不确定性和扰动的 Tornambe 非线性鲁棒控制器。这种非线性鲁棒控制器在获得较好的整定参数情况下,可以使被控对象获得较好的控制性能,并有严格的理论证明来保证其稳定性,具有很强的抗扰动能力和自适应能力。

[0004] 然而,这种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的待整定参数与被控对象的输入输出相对阶 r 有关,也就是说,当被控对象越复杂,输入输出相对阶 r 越高,Tornambe 型非线性鲁棒控制器的待整定参数也就越多,导致响应速度慢,从而限制了 Tornambe 型非线性鲁棒控制器在实际工业控制中的应用,也不便于工业控制的设计实现。

[0005] 中国期刊《船舶工程》中的文献“船舶航向非线性控制系统仿真研究”是本发明最接近的现有技术。

发明内容

[0006] 基于此,有必要针对现有 Tornambe 型非线性鲁棒控制器响应速度慢的问题,提供一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法、一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定系统以及一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器,以提高 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的响应速度,使得 Tornambe 型非线性鲁棒控制器能够应用在实际工业控制中,便于工业控制的设计实现。

[0007] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0008] 一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法,包括步骤:

[0009] 设定 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的待整定参数初始值,其中,除了第一个待整定参数 k_0 、最后一个待整定参数 k_{r-1} 之外的其他待整定参数的值为 0;

[0010] 对被控对象进行控制操作,判断被控对象的输出是否稳定;

[0011] 若被控对象的输出不稳定,保持最后一个待整定参数 k_{r-1} 之外的其他待整定参数不变,在第一设定范围内调整最后一个待整定参数 k_{r-1} ,并返回对被控对象进行控制操作的步骤,直至被控对象的输出稳定;

[0012] 判断被控对象输出响应的超调量是否在预设超调量预期范围内;

[0013] 若否,保持第一个待整定参数 k_0 之外的其他待整定参数不变,在第二设定范围内调整第一个待整定参数 k_0 ,对被控对象进行控制操作,返回判断被控对象输出响应的超调量是否在预设超调量预期范围内的步骤,直至调整后的待整定参数使得被控对象输出响应的超调量在预设超调量预期范围内;

[0014] 判断被控对象的性能指标是否符合预设预期性能指标值,若否,返回设定 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的待整定参数初始值的步骤,直至被控对象的性能指标符合预设预期性能指标值。

[0015] 一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器,包括:非线性组合模块、积分器、线性组合模块、预期动态模块以及加法器,非线性组合模块的输入端接入被控对象测量值、Tornambe 型非线性鲁棒控制器输出的控制量,非线性组合模块的输出端与积分器的输入端连接,线性组合模块的输入端接入被控对象测量值以及积分器输出值,预期动态模块的输入端接入被控对象测量值,线性组合模块的输出端、预期动态模块的输出端与加法器的输入端连接,加法器的输出端输出所述控制量。

[0016] 一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定系统,包括如上所述的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器以及检测装置,所述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器通过执行机构与被控对象连接,检测装置检测被控对象的输出信号以及该输出信号的各阶导数,并将检测到的输出量以及该输出量的各阶导数输出至所述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器,所述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器根据输入信号、输出信号、输出信号的各阶导数产生驱动所述执行机构的控制信号。

[0017] 一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定系统,包括如上所述的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器以及第一检测装置、第二检测装置以及减法器,所述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器通过执行机构与被控对象连接,第一检测装置检测被控对象的输出信号,并将检测到的输出信号输出至所述减法器的输入端,第二检测装置检测被控对象的输出信号的各阶导数,并将检测到的各阶导数输出至所述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器,所述减法器的另一输入端接入输入信号,所述减法器的输出端与所述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的输入端连接,所述减法器输出输入输出误差,所述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器根据输入输出信号误差、输出信号的各阶导数产生驱动所述执行机构的控制信号。

[0018] 根据本发明方案,在进行参数整定的过程中,只需要对第一个待整定 k_0 和最后一个待整定参数 k_{r-1} 这两个参数进行整定,从而不管被控系统多么复杂,均不需依赖于被控系统的相对阶数,就能够获得满意的控制效果,从而提高了 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定过程的效率,使得该 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法能够更加工

程化,能够方便地应用到实际工业控制过程中。

附图说明

[0019] 图 1 是本发明的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法实施例的流程示意图;

[0020] 图 2 是本发明的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的结构示意图;

[0021] 图 3 是应用本发明的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器具体应用时的其中一种设备连接关系示意图;

[0022] 图 4 是应用本发明的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器具体应用时的另一种设备连接关系示意图。

具体实施方式

[0023] 以下结合其中的较佳实施方式对本发明方案进行详细阐述。

[0024] 图 1 中示出了本发明的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法实施例的流程示意图。

[0025] 如图 1 所示,本实施例中的方法包括步骤:

[0026] 步骤 S101:设定 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的待整定参数初始值,其中,除了第一个待整定参数 k_0 、最后一个待整定参数 k_{r-1} 之外的其他待整定参数的值为 0;

[0027] 步骤 S102:对被控对象进行控制操作,判断被控对象的输出是否稳定,若不稳定,进入步骤 S103,若稳定,进入步骤 S104;

[0028] 步骤 S103:保持最后一个待整定参数 k_{r-1} 之外的其他待整定参数不变,在第一设定范围内调整最后一个待整定参数 k_{r-1} ,并返回步骤 S102,重新对被控对象进行控制操作;

[0029] 步骤 S104:判断被控对象输出响应的超调量是否在预设超调量预期范围内,若否,进入步骤 S105,若是,则进入步骤 S106;

[0030] 步骤 S105:保持第一个待整定参数 k_0 之外的其他待整定参数不变,在第二设定范围内调整第一个待整定参数 k_0 ,对被控对象进行控制操作,并返回步骤 S104,在此进行被控对象输出响应的超调量是否在预设超调量预期范围内的判断;

[0031] 步骤 S106:判断被控对象的性能指标是否符合预设预期性能指标值,若不符合,则返回步骤 S101,重新对 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的待整定参数初始值进行设定,若符合,则结束对 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定过程。

[0032] 根据如上所述的本发明的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法,在进行参数整定的过程中,只需要对第一个待整定 k_0 和最后一个待整定参数 k_{r-1} 这两个参数进行整定,从而不管被控系统多么复杂,均不需依赖于被控系统的相对阶数,就能够获得满意的控制效果,从而提高了 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定过程的效率,使得该 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法能够更加工程化,能够方便地应用到实际工业控制过程中。

[0033] 以下就其中一个具体示例进行详细说明。

[0034] 对于大多数工业对象的控制来说,其要求都是要使得被控对象的输出量 y 能够快速、准确的跟踪系统输入量 y_d ,据此, Tornambe 型非线性鲁棒控制器的基本前提是:被控对

象的输入输出相对阶 r 是已知的, 系统输出量 y 以及各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 是可测量的。据此, 目前的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器可通过下式表示:

$$[0035] \quad \begin{cases} u = -h_0(y - y_d) - \sum_{i=1}^{r-1} h_i z_{i+1} - \hat{d} \\ \hat{d} = \xi + k_0(y - y_d) + \sum_{i=1}^{r-1} k_i z_{i+1} \\ \dot{\xi} = -k_{r-1}\xi - k_{r-1}(k_0(y - y_d) + \sum_{i=1}^{r-1} k_i z_{i+1}) - \sum_{i=0}^{r-2} k_i z_{i+2} - k_{r-1}u \end{cases}$$

[0036] 其中, y 表示系统的实际输出量, y_d 表示系统输入量, u 为控制量, $z_1, z_2, z_3, \dots, z_r$ 分别表示输出量 y 以及输出量 y 的各阶导数, 即 $(z_1, z_2, z_3, \dots, z_r) = (y, \dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)})$, $k_0, k_1, k_2, \dots, k_{r-1}$ 为控制器的待整定参数, $h_0, h_1, h_2, \dots, h_{r-1}$ 表示被控制系统的预期动力学参数。根据赫尔维兹方程, 预期动力学方程可定义为:

$$[0037] \quad \frac{y(s)}{y_d(s)} = \frac{h_0}{s^r + h_{r-1}s^{r-1} + \dots + h_1s + h_0}$$

[0038] 其中, y 表示被控系统输出量, y_d 表示被控系统输入量, s 表示复变量, $y(s)$ 、 $y_d(s)$ 分别表示被控对象时域输出量和参考输入量的拉普拉斯变换形式。

[0039] 由此可见, 目前的这种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器, 其待整定参数有 r 个, 当被控对象很复杂的时候, 待整定参数很多, 并且不能很容易地找到众多待整定参数之间的有效关系, 从而使得控制器的参数整定没有规律可循, 不利于控制器的工程化。

[0040] 基于此, 本发明方案提出的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法, 无论被控对象的形式多复杂, 系统的输入输出相对阶 r 有多大, 都只需要对原来的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的代整定参数中的第一个待整定参数 k_0 、最后一个待整定参数 k_{r-1} 进行整定, 就能够达到满意的控制效果, 从而对将 Tornambe 型非线性鲁棒控制器应用到实际工业控制中具有重要的意义。

[0041] 由于对 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数进行整定的目的, 是为了能够使得经由该 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的控制, 被控对象的性能指标能够符合预期性能指标值。因此, 在对 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数进行整定时, 需要结合用整定后的参数进行控制能否使得被控对象的输出特性满足预期输出特性来判断。据此, 在对 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数进行整定时, 一般是要结合一个实际的控制系统来进行。这样的一个实际的控制系统, 一般包括有被控对象、检测装置以及 Tornambe 型非线性鲁棒控制器。在该控制系统中, 通过检测装置测量被控对象的输出量 y 和被控对象输出量的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$, 将测量得到的输出信号与输入信号相减, 得到输入输出误差 e , 将误差 e 和输出量 y 的各阶导数值输入到 Tornambe 型非线性鲁棒控制器, 从而产生驱动执行机构的控制量, 由执行机构对控制对象进行控制操作。

[0042] 为了能够在经 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数对被控对象进行控制后、可以被控对象的性能指标是否符合预期性能指标进行判断, 在应用 Tornambe 型非线性鲁棒控制器对被控对象进行控制之前, 一般还需要根据被控对象的预期输出特性, 设置控制器预期动态参数 $h_0, h_1, h_2, \dots, h_{r-1}$ 的初始估计值, 该预期动态参数 $h_0, h_1, h_2, \dots, h_{r-1}$ 的初始估计值可以基于实际工程需要进行设定, 以使得控制对象经过控制后的输出响应能够与所期望

的输出特性相近,能够符合工程现场要求的快速性和准确性等性能指标。

[0043] 在上述设定好预期动态参数的估计值等之后,就可以运行控制系统并进行 Tornambe 非线性鲁棒控制器的参数整定过程。

[0044] 在整定时,首先设定 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的各待整定参数的初始值。由于本发明方案只需对第一个待整定参数 k_0 、最后一个待整定参数 k_{r-1} 进行整定,因此,对于其他的待整定参数 $k_1, k_2, \dots, k_{r-2}$ 来说,可以直接规定或者设置为 0。而对于第一个待整定参数 k_0 、最后一个待整定参数 k_{r-1} 来说,可以相应地设置初始估计值。设置时,对于第一个待整定参数 k_0 ,由于第一个待整定参数 k_0 主要是对被控对象输出响应超调量产生影响,可以设置一个小的初始估计值,由于对被控对象的要求不同,被控对象可能是大延迟慢对象,也可能是快速反应对象,从而对第一个待整定参数 k_0 的调整措施也可能会有差别,因此,第一个待整定参数 k_0 的初始估计值一般设为不为 0 的一个小的初始估计值,例如可以是 10。对于最后一个待整定参数 k_{r-1} ,由于最后一个待整定参数 k_{r-1} 主要是对被控对象的输出稳定性产生影响,也可以是设置一个小的初始估计值,例如可以为 0。

[0045] 基于上述设定的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数,对被控对象进行控制操作,并判断被控对象的输出响应是否稳定,具体的判断被控对象的输出响应是否稳定的方式可以采用目前已有的方式进行,在此不予详加赘述。

[0046] 如果被控对象的输出响应不稳定,则保持除了最后一个待整定参数 k_{r-1} 之外的其他参数不变,并在第一设定范围内调整最后一个待整定参数 k_{r-1} 的值,具体的调整幅度可以基于实际需要继续设定,例如每次调整同一步长,或者基于稳定性的便宜程度设定每次的条幅等等。调整之后,依据调整之后的参数重新对被控对象进行控制操作,直至被控对象的输出响应稳定,即被控对象的输出达到稳定状态。

[0047] 在被控对象的输出达到稳定状态后,保持此时设定的最后一个待整定参数 k_{r-1} 的值不变,进行后续处理过程。通过实际的工程实践发现,最后一个待整定参数 k_{r-1} 不仅影响被控对象的稳定性,还直接对控制系统的鲁棒性起作用。 k_{r-1} 越大,控制系统的鲁棒性越好,被控对象的抗扰能力越强。但通过理论证明, k_{r-1} 的值又不能取的无限大, k_{r-1} 过大会使得被控对象的输出响应超出稳定域,从而使得被控对象失稳。总之,在被控对象的输出不稳定时,参数 k_{r-1} 在合适的范围内从初始值逐渐增大,可以使得被控对象的输出响应逐渐稳定。

[0048] 在被控对象的输出响应稳定的情况下,继续判断被控对象输出响应的超调量是否在预设超调量预期范围内,判断超调量是否在预设超调量预期范围内的方式可以采用目前已有的方式进行,在此不予详加赘述。

[0049] 如果被控对象输出响应的超调量不在预设超调量预期范围内,则保持第一个待整定参数 k_0 之外的其他待整定参数不变,并在第二设定范围内调整第一个待整定参数 k_0 。

[0050] 在对第一个待整定参数 k_0 进行调整时,基于被控对象的实际要求的不同,可以做不同的调整。

[0051] 当被控对象属于大延迟、慢对象时,减小第一个待整定参数 k_0 的值,具体的减小幅度可以基于实际需要设定,例如每次减小特定的步长、或者基于超出预设超调量预期范围的程度来设置减小幅度。在减小了第一个待整定参数 k_0 之后,依据调整后的参数重新对被控对象进行控制操作,判断被控对象输出响应的超调量是否在预设超调量预期范围内,若不在,继续减小第一个待整定参数 k_0 的值,直至被控对象输出响应的超调量在预设超

调量预期范围内,即使得被控对象的输出响应平稳无超调地趋近输入的期望值,使得被控对象的输出满足快速性的性能需求。

[0052] 当被控对象属于快速反应对象时,增大第一个待整定参数 k_0 的值,具体的增大幅度可以基于实际需要进行设定,例如每次增大特定的步长、或者基于超出预设超调量预期范围的程度来设置增大幅度。在增大了第一个待整定参数 k_0 之后,依据调整后的参数重新对被控对象进行控制操作,判断被控对象输出响应的超调量是否在预设超调量预期范围内,若不在,继续增大第一个待整定参数 k_0 的值,直至被控对象输出响应的超调量在预设超调量预期范围内,即使得被控对象的输出响应快速满意地趋近输入的期望值,使得被控对象的输出满足快速性的性能需求。

[0053] 通过实际的工程实践发现,第一个待整定参数 k_0 的值越小,控制对象的超调越小,但同时会使得系统输出快速性变差;第一个待整定参数 k_0 的值越大,被控对象的输出响应快速性越好,但同时会使得被控对象的输出超调量增加,因此,第一个待整定参数 k_0 的具体值可以结合实际需要进行设定。总的来说,在被控对象的输出稳定情况下,第一个待整定参数 k_0 越大,被控对象的输出响应快速性就越好。

[0054] 在经过上述过程之后,被控对象的输出稳定,且被控对象输出的超调量也在预设超调量预期范围内,即满足了快速性的需求,但是被控对象的其他性能指标不一定就刚好符合了预期值。因此,可继续判断被控对象的性能指标是否符合预设预期性能指标值,如果不符合,则返回重新对 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的第一个待整定参数 k_0 、最后一个待整定参数 k_{r-1} 的初始估计值重新进行设定,重复上述过程,直至被控对象的性能指标符合预设预期性能指标值,被控对象的输出令人满意。

[0055] 基于上述本发明的基于 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法,通过投入实际应用进行检验发现,其不仅可以很方便的应用到实际的工业控制过程中,而且能够使得被控对象的输出响应取得令人满意的效果。无论控制对象是何种类型的控制对象,例如大时滞、强耦合、强非线性对象等等,只要适当地对 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的第一个待整定参数 k_0 、最后一个待整定参数 k_{r-1} 进行调整,就能够获得很好的控制效果,而且能够使得被控对象具有很强的抗外界干扰能力。

[0056] 在上述 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的参数整定方法的基础上,本发明还提供一种 Tornambe 型非线性鲁棒控制器,其是一种简化型的 Tornambe 型非线性鲁棒控制器。图 3 中示出了该简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的结构示意图。

[0057] 如图 2 所示,该简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器包括:非线性组合模块 201、积分器 202、线性组合模块 203、预期动态模块 204 以及加法器 205,非线性组合模块 201 的输入端接入被控对象测量值、Tornambe 型非线性鲁棒控制器输出的控制量,非线性组合模块 201 的输出端与积分器 202 的输入端连接,线性组合模块 203 的输入端接入被控对象测量值以及积分器 202 的输出值,预期动态模块 204 的输入端接入被控对象测量值,线性组合模块 203 的输出端、预期动态模块 204 的输出端与加法器 305 的输入端连接,加法器 305 的输出端输出控制量。

[0058] 图 2 所示中,非线性组合模块 201、线性组合模块 203、预期动态模块 204 以及加法器 205 等,均可以通过可编程电子元器件、可编程逻辑器件等来实现。实现时,控制器的待整定参数以程序参数的形式写入到各功能模块中,当程序参数改变时,就可以完成对控制

器参数的整定。

[0059] 图 2 所示中, Z_i 表示通过检测装置反馈到控制器的被控对象的测量值, 即被控对象的输出量 y 和被控对象输出量 y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$; u 表示控制器输出的控制量。当被控对象受到外界的某种扰动作用, 这种扰动作用必然会反映在被控输出信息 Z_i 中, 从而就有可能以适当的方式处理被控输出信息来估计出其作用。简化型 Tornambe 非线性鲁棒控制器采用积分补偿 (此功能由积分器 302 实现) 的方法来消除扰动的影响, 积分器的补偿作用受到预期动态的限制, 使补偿后的输出尽可能的接近预期动态特性, 最终确定控制器的控制作用的大小。

[0060] 基于上述本发明提供的简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器, 图 3、图 4 中示出了两种应用该 Tornambe 型非线性鲁棒控制器进行具体应用时的设备连接关系的示意图。这是因为, 在简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的实际应用时, 输入输出误差可以是由控制器基于输入信号自己得出, 也可以是外界提供、控制器直接接收该输入输出误差。

[0061] 图 3 所示中, 是以简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器自己基于输入信号、检测到的输出信号得到输入输出误差为例进行说明。如图 3 所示, 该简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器通过执行机构与被控系统相连, 通过检测装置提供反馈回路。检测装置检测被控对象的输出量 y 和被控对象输出量 y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$, 并将检测到的这些信号送入简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器。在简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器内, 将测量得到的输出信号与输入信号相减, 得到输入输出误差 e , 并将输入输出误差 e 和输出量 y 的各阶导数值 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 进行运算, 从而产生驱动执行机构的控制量, 最后由执行机构根据该控制量对被控对象进行控制操作。

[0062] 需要说明的是, 图 3 所示中, 是以同一个检测装置同时对输出量 y 和被控对象输出量 y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 进行检测进行说明, 基于实际需要, 也可以是用两个不同的检测装置分别对输出量 y 和被控对象输出量 y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 进行检测, 在此不予多加赘述。

[0063] 图 4 所示中, 是以输入输出误差作为简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的输入为例进行说明。如图 4 所示, 该简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器通过执行机构与被控系统相连, 通过第一检测装置、第二检测装置提供反馈回路。第一检测装置检测被控对象的输出量 y , 并将检测到的输出信号 y 输出至减法器的输入端, 第二检测装置检测被控对象输出量 y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$, 并将检测到的各阶导数送入简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器。减法器的另一输入端接入输入信号, 减法器的输出端与简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器的输入端连接, 减法器将测量得到的输出信号与输入信号相减, 得到输入输出误差 e , 并将输入输出误差 e 输出到简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器。简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器根据输入输出信号误差 e 和输出量 y 的各阶导数值 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 进行运算, 从而产生驱动执行机构的控制量, 最后由执行机构根据该控制量对被控对象进行控制操作。

[0064] 需要说明的是, 图 4 所示中, 是以两个检测装置分别对输出量 y 和被控对象输出量

y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 进行检测进行说明, 基于实际需要, 也可以是用同一个检测装置同时对输出量 y 和被控对象输出量 y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 进行检测, 并将检测到的输出量 y 和被控对象输出量 y 的各阶导数 $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(r-1)}$ 分别送入减法器 and 简化型 Tornambe 型非线性鲁棒控制器, 在此不予多加赘述。

[0065] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式, 其描述较为具体和详细, 但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是, 对于本领域的普通技术人员来说, 在不脱离本发明构思的前提下, 还可以做出若干变形和改进, 这些都属于本发明的保护范围。因此, 本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

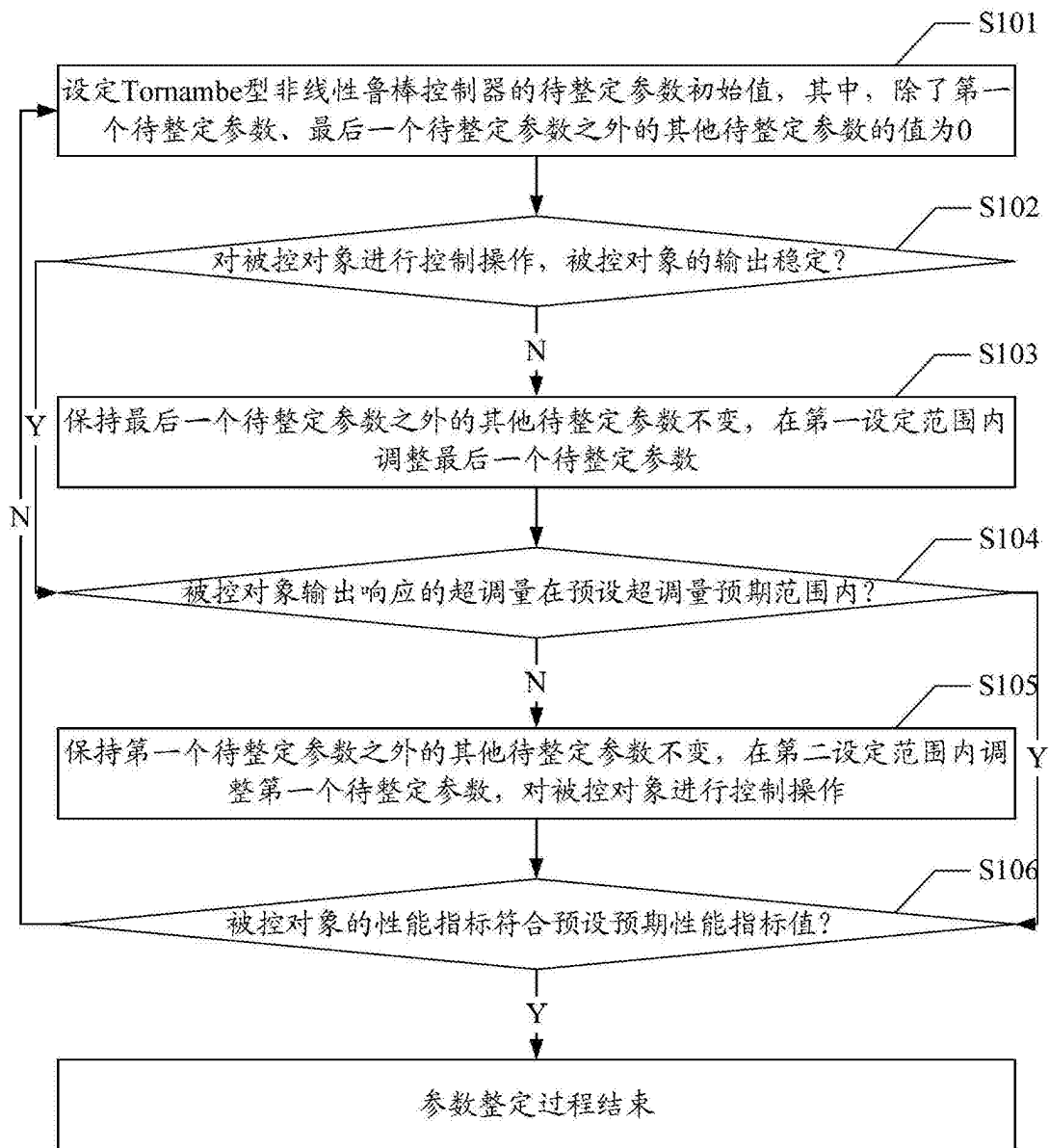


图 1

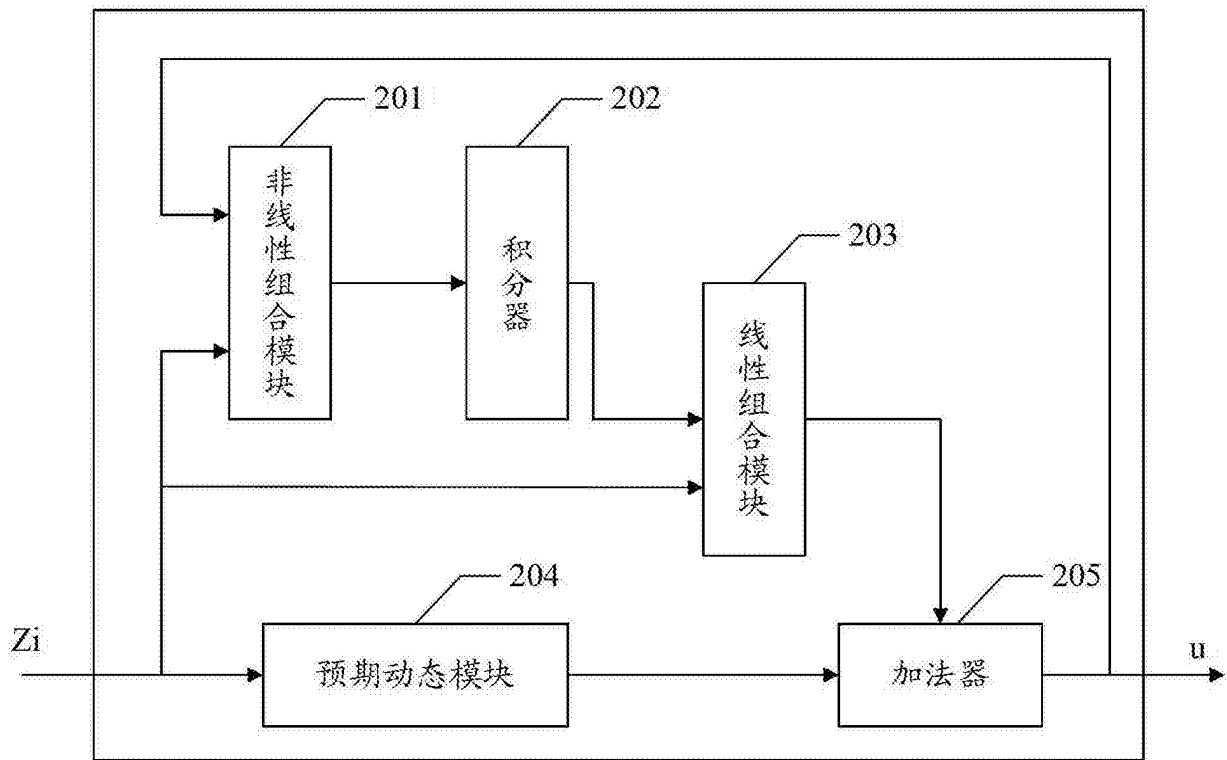


图 2

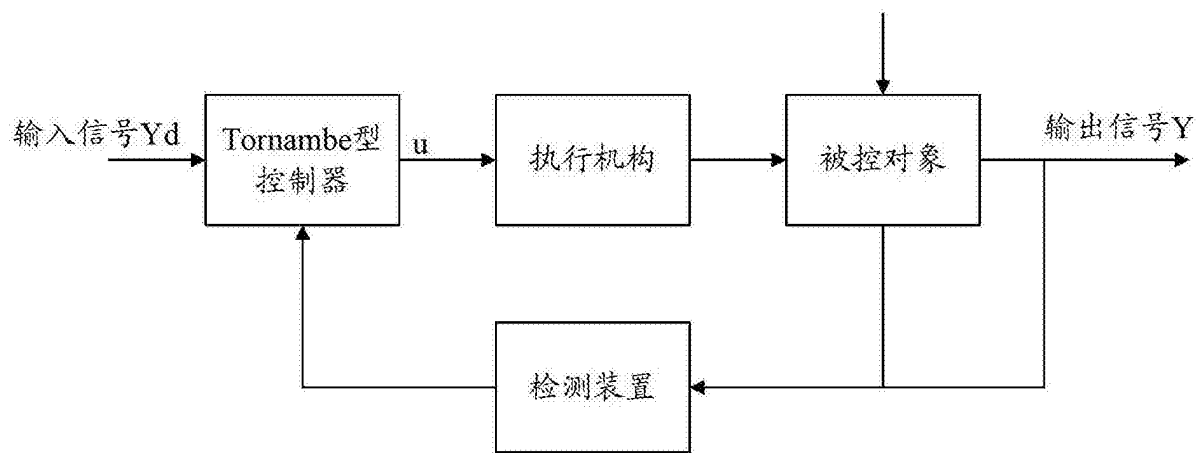


图 3

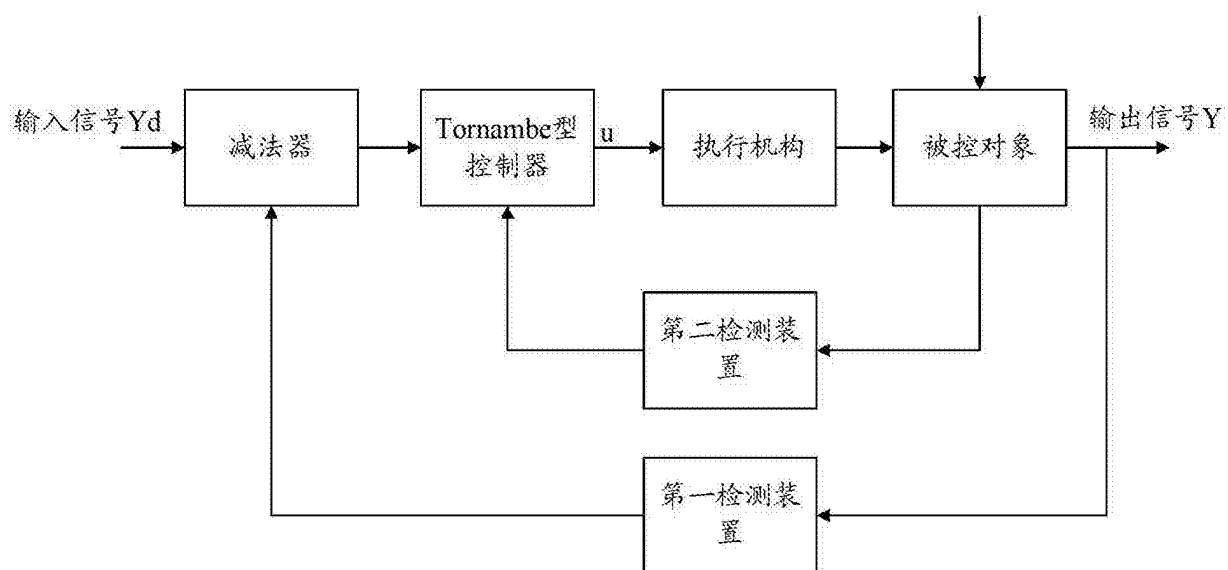


图 4