

非线性微分-代数子系统的初始化高增益观测器设计

陈炜峰¹ 周权¹ 臧强¹

摘要

针对一类大系统中的非线性微分-代数子系统,研究其状态观测问题,提出了一种初始化高增益观测器设计方案.首先,通过一个非线性微分同胚变换,实现了系统的等价变换;然后针对等价系统,给出了初始化状态观测器设计,使得观测误差是指数收敛的;最后,给出一个数值仿真算例.仿真结果验证了该方法的有效性.

关键词

微分-代数子系统;非线性系统;高增益观测器;初始化

中图分类号 TP13

文献标志码 A

收稿日期 2011-11-08

资助项目 国家自然科学基金(61004001);江苏省自然科学基金(BK2011826);南京信息工程大学科研启动基金(S8110046001)

作者简介

陈炜峰,男,博士,教授,主要从事电磁兼容性测试、电磁脉冲模拟等技术方面的研究.
cwf6426@163.com

0 引言

许多实际系统如电力系统、经济系统以及受限机器人系统等均可由微分-代数(Differential-Algebraic Equations, DAE)系统模型来描述.已有的研究大多将受控 DAE 系统视为孤立系统,不考虑系统外部和受控系统之间的相互约束和影响,例如在不考虑被控对象和外部之间的相互影响时,单机无穷大系统便成为一个孤立非线性 DAE 系统^[1].然而在许多实际应用中,被控对象往往是大系统中的一个非线性 DAE 子系统,与大系统其余部分之间存在相互约束(这些约束从物理角度如能量守恒等考虑,是自然产生的),受大系统其余部分产生的关联输入变量的影响.文献[2]所谓“电力系统元件结构化模型”,就是一个典型的非线性 DAE 子系统模型.实际上,不仅是电力大系统,对于其他复杂大系统,非线性 DAE 子系统的控制问题也是普遍存在的.

在各种结构性条件和增长性条件的假设下,非线性常微分方程(Ordinary Differential Equations, ODE)系统的状态观测问题已经取得了丰富的成果^[3],但对于非线性 DAE 子系统而言,状态观测问题的研究还不多见.针对一类仿射非线性 DAE 系统,文献[4-5]研究了非线性 DAE 系统的输出反馈镇定控制问题,文献[6-7]将非线性 ODE 系统的高增益观测器方法进行了扩展.然而,目前对于非线性 DAE 子系统的状态观测问题的研究还很少.

本文研究了一类非线性 DAE 子系统的状态观测问题,给出了一种初始化非线性高增益观测器设计方案,初始化是指观测器的初始条件要满足代数约束方程.本文首先通过非线性微分同胚变换,实现被控系统的等价变换;再针对等价系统,分别设计出针对等价系统和原系统的初始化非线性高增益观测器,使系统状态估计误差指数收敛于零;最后给出一个数值仿真算例.仿真结果验证了本文所提设计方案的有效性.

1 系统的描述和问题的提出

为使读者对本文所谓“非线性 DAE 子系统”控制问题提出的物理背景有更为直观的了解,下面对其作简要描述.

包含 N 个元件的电力系统,其中第 i ($i = 1, \dots, N$) 个元件由如下的非线性微分-代数方程来描述^[8-11]:

¹ 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京, 210044

$$\begin{cases} \dot{x}_i = f_i(x_i, z_i, u_i), \\ 0 = g_i(x_i, z_i, \bar{v}_i), \\ y_i = h_i(x_i, z_i, \bar{v}_i), \end{cases} \quad i = 1, \dots, N. \quad (1)$$

显然元件 i 是电力系统中的一个子系统. 相对于元件 i , 其余元件 $j(j \neq i)$ 和交流电网共同组成电力系统的其余部分. 这里称 $\bar{v}_i \in \mathbf{R}^{s_i}$ 为关联输入变量, 通过合适选取, 可使得 \bar{v}_i “完全” 反映电力系统其余部分对元件 i 的影响. 元件 i 与电力系统其余部分的关系可以由图 1 直观地表示.

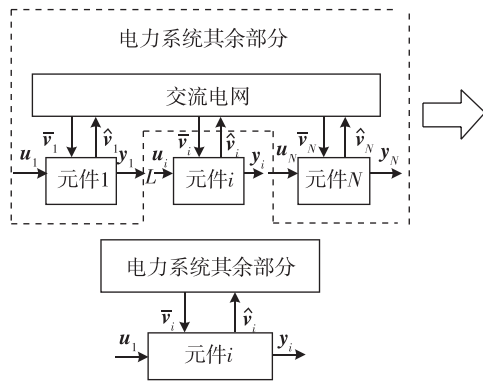


图 1 元件与电力系统其余部分

Fig. 1 Components and the rest of the power systems

更一般的, 本文将研究如下形式的非线性 DAE 子系统:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = f_i(x_i, z_i, \bar{v}_i) + f_i(x_i, z_i, \bar{v}_i) u_i, \\ 0 = g_i(x_i, z_i, \bar{v}_i) \\ y_i = h_i(x_i, z_i, \bar{v}_i), \end{cases} \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

这里 $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T \in \mathbf{R}^n, z_i \in \mathbf{R}^d, u_i \in \mathbf{R}, y_i \in \mathbf{R}, i = 1, \dots, N$, 分别为非线性 DAE 子系统(2)的微分变量、代数变量、控制输入和控制输出, 统称 $(x_i^T, z_i^T)^T$ 为系统(2)的状态变量, 称 $\bar{v}_i \in \mathbf{R}^{s_i}$ 为关联输入变量, 反映了大系统其余部分对于(2)的影响, $f_i \in \mathbf{R}^{n_i}, g_i = (g_1, \dots, g_d)^T \in \mathbf{R}^{d_i}, h_i \in \mathbf{R}$ 均为定义域上的光滑向量场. 为简单起见, 下文将省略下标 i .

记 g 的零集为

$$\Omega: \Omega = \{(x, z, \bar{v}) \in \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^d \times \mathbf{R}^s : g(x, z, \bar{v}) = 0\}. \quad (3)$$

对非线性 DAE 子系统(2), 有如下的假设.

假设 1 非线性 DAE 子系统(2)是指数 1 的, 即代数方程 $0 = g(x, z, \bar{v})$ 关于代数变量 z 的雅克比矩阵在 Ω 上具有常满秩:

$$\forall (x, z, \bar{v}) \in \Omega, \quad \text{rank}\left(\frac{\partial g}{\partial z}\right) = d. \quad (4)$$

假设 2 非线性 DAE 子系统(2)具有容许初始值 $X_0 = (x_0, z_0, y_0, \bar{v}_0) \in \Omega$, 即 $0 = g(x_0, z_0, \bar{v}_0)$.

假设 1 和假设 2 保证了非线性 DAE 子系统(2)的解对容许初始值的存在和唯一性.

假设 3 关联输入变量 \bar{v} 及其充分阶次的导数均为本地可测有界信号.

由式(4)可知, $\left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)^{-1}$ 在 Ω 上存在. 定义如下的非线性坐标变换:

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \chi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T(x, z, \bar{v}) \\ g(x, z, \bar{v}) \end{bmatrix} \triangleq \Psi(x, z, \bar{v}). \quad (5)$$

$$\text{其中 } \xi = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \vdots \\ \xi_n \end{pmatrix}, T = \begin{pmatrix} h(x, z, \bar{v}) \\ \vdots \\ L_{Ff_1}^{n-1} h(x, z, \bar{v}) \end{pmatrix}, F(x_i, z_i, \bar{v}_i)$$

$$\text{定义为 } F(x_i, z_i, \bar{v}_i) \triangleq \begin{bmatrix} I_n \\ -\left(\frac{\partial g_i}{\partial z_i}\right)^{-1} \frac{\partial g_i}{\partial x_i} \end{bmatrix}, L_{Ff_1}^i h \triangleq$$

$$L_{Ff_1}(L_{Ff_1}^{i-1} h) \triangleq \left(\frac{\partial L_{Ff_1}^{i-1} h}{\partial x} \frac{\partial L_{Ff_1}^{i-1} h}{\partial z}\right) Ff_1, i = 1, \dots, n.$$

假设 4 Ψ 为 Ω 的管状邻域 $\Omega_k = \{(x, z, \bar{v}) \in \Omega \mid \|g(x, z, \bar{v})\| < \kappa, \kappa > 0\}$ 上的微分同胚, 满足 $\|\Psi(x_1, z_1, \bar{v}_1) - \Psi(x_2, z_2, \bar{v}_2)\| \geq \omega \|x_1 - x_2, z_1 - z_2\|$, 这里 $\omega > 0$ 为已知正常数, 且 Ψ 将系统(2)等价转化为

$$\begin{cases} \dot{\xi}_1 = \xi_2 + \varphi_1(\xi, \chi, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u), \\ \vdots \\ \dot{\xi}_{n-1} = \xi_n + \varphi_{n-1}(\xi, \chi, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u), \\ \dot{\xi}_n = u + \varphi_n(\xi, \chi, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u), \\ \dot{\chi} = 0, \\ y = \xi_1. \end{cases} \quad (6)$$

假设 5 $\varphi_i (i = 1, \dots, n)$ 是关于 ξ 的全局 Lipschitz 函数 (即 $\|\varphi_i(\xi, \chi, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u) - \varphi_i(\bar{\xi}, \chi, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u)\| \leq c \|\xi - \bar{\xi}\|, c > 0$ 为 Lipschitz 常数).

与已有孤立非线性 DAE 系统结果相比, 系统(2)中的微分方程和代数方程还含有关联输入变量 \bar{v} , 这使得类似于文献[12]中的精确的线性化方法不可行. 同时系统(2)中的关联输入变量具有假设 3 所述的优良性质, 这为其状态观测器的设计提供了极大的便利. 本文将研究满足以上假设的 DAE 子系统(2)的状态观测问题.

2 初始化高增益观测器的设计

对等价系统(6)构造如下形式的高增益观测器:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\xi}}_1 = \hat{\xi}_2 + \varphi_1(\hat{\xi}, \hat{\chi}, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u) + \theta K_1(\hat{\xi}_1 - y), \\ \vdots \\ \dot{\hat{\xi}}_{n-1} = \hat{\xi}_n + \varphi_{n-1}(\hat{\xi}, \hat{\chi}, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u) + \theta^{(n-1)} K_{n-1}(\hat{\xi}_1 - y), \\ \dot{\hat{\xi}}_n = u + \varphi_n(\hat{\xi}, \hat{\chi}, \bar{v}, \dot{\bar{v}}, u) + \theta^n K_n(\hat{\xi}_1 - y), \\ \dot{\hat{\chi}} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

其中 θ 为大于零的正常数, $K = [K_1, \dots, K_n]^T$ 使得 $A + KC$ 是 Hurwitz 矩阵,

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 1 \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 \end{pmatrix}_{n \times n}, C = (1, 0, \dots, 0)_{1 \times n}.$$

定理 1 若 u 是有界输入, 则存在一个常数 $\theta_0 > 0$, 对于 $\theta \geq \theta_0$, 有:

$$\|\hat{\xi}(t) - \xi(t)\| \leq \lambda \|\hat{\xi}(0) - \xi(0)\| \exp(-\mu t). \quad (8)$$

其中 $\xi = (x, z, \bar{v})$, λ, μ 为大于 0 的常数.

证明 $\xi(t)$ 是观测器(7)在 $\chi = 0$ 时的轨迹, 且 $\hat{\xi}(t)$ 是系统(6)中的状态 $\xi(t)$ 的估计.

定义观测误差 $e(t) = (\Delta^{-1}\hat{\xi}(t) - \xi(t))$, $\delta\varphi_i = \varphi_i(\hat{\xi}, \hat{\chi}, \bar{v}, u) - \varphi_i(\xi, \chi, \bar{v}, u)$, $i = 1, \dots, n$, 得

$$\dot{e} = \theta(A + KC)e + \Delta^{-1}\delta\varphi_i. \quad (9)$$

其中 $\Delta = \text{diag}\left(\frac{1}{\theta}, \dots, \frac{1}{\theta^n}\right)$ 是 $n \times n$ 的对角矩阵. 因为 $A + KC$ 是 Hurwitz 矩阵, 因此存在一个对称正定矩阵 P 使得如下等式成立:

$$(A + KC)^T P + P(A + KC) = -I_n. \quad (10)$$

定义李亚普诺夫函数 $V(t) = (e(t))^T P e(t)$ 和 $W(t) = \|\hat{\chi}(t)\|^2$, 下面将证明存在 $\theta_0 > 1$, 使得 $\forall \theta \geq \theta_0$ 有函数 $V(t)$ 和 $W(t)$ 指数收敛于 0.

从式(10)得 $W(t) = -2\hat{\chi}^T A \hat{\chi} \leq -2\lambda_{\min}(A)W$, 其中 A 是 $d \times d$ 维的正定对称矩阵, 则有

$$\|\hat{\chi}(t)\|^2 \leq e^{-\beta t} \|\hat{\chi}(0)\|^2, \quad \beta = 2\lambda_{\min}(A), \quad (11)$$

即 $W(t)$ 是指数收敛于 0.

从式(9)和(10), 得

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= -\theta \|e\|^2 + 2(e)^T P \Delta^{-1} \delta\varphi_i \leq \\ &-\theta \|e\|^2 + 2\|P\| \|e\| \|\Delta^{-1} \delta\varphi_i\|. \end{aligned} \quad (12)$$

由假设 5 和不等式(11), 则对于 $\theta \geq 1$, 有下列不等式成立:

$$\begin{aligned} \|\Delta^{-1} \delta\varphi_i\| &\leq \|\Delta^{-1}(\varphi_i(\hat{\xi}, \hat{\chi}, \bar{v}, u) - \varphi_i(\xi, \chi, \bar{v}, u))\| + \\ &\|\Delta^{-1}(\varphi_i(\hat{\xi}, \hat{\chi}, \bar{v}, u) - \varphi_i(\xi, \chi, \bar{v}, u))\| \leq \\ &c_1 \|\chi\| + c_2 \|e\|. \end{aligned} \quad (13)$$

c_1 和 c_2 是不依赖于 θ 的常数. 对于

$$\begin{aligned} V(t) &\leq -\theta^\delta \|e\|^2 + 2c_1 \|P\| \|e\| \|\chi\| + 2c_2 \|P\| \|e\|^2 \leq \\ &-\varepsilon \|e\|^2 + \lambda \|e\| \|\chi\|, \end{aligned} \quad (14)$$

又由于 $\chi(t) = 0$, ε 为很小的常数, 因此 $V(t)$ 是指数收敛于 0. 证毕.

观测器(7)是针对等价系统(6)的, 而对于原系统(2)本文给出如下状态观测器设计:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = f_1(\hat{x}, \hat{z}, \dot{\bar{v}}) + f_2(\hat{x}, \hat{z}, \dot{\bar{v}})u + \\ \quad \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \Big|_{\hat{x}}\right)^{-1} \Delta_\theta K(h(\hat{x}, \hat{z}, \dot{\bar{v}}) - y), \\ \dot{\hat{z}} = -\left(\frac{\partial g}{\partial z} \Big|_{(\hat{x}, \hat{z}, \dot{\bar{v}})}\right)^{-1} \left(\frac{\partial g}{\partial x} \Big|_{(\hat{x}, \hat{z}, \dot{\bar{v}})}\right) \hat{x}, \\ g(\hat{x}(0), \hat{z}(0), \dot{\bar{v}}(0)) = 0. \end{cases} \quad (15)$$

同时定义 $\begin{pmatrix} x(t) \\ z(t) \end{pmatrix} = \zeta(t) = \Phi^{-1}(\xi(t))$, $\begin{pmatrix} \hat{x}(t) \\ \hat{z}(t) \end{pmatrix} = \hat{\zeta}(t) = \Phi^{-1}(\hat{\xi}(t))$, 则有如下结论.

定理 2 若 Φ 满足 $\|\Phi(\zeta) - \Phi(\bar{\zeta})\| \geq \bar{\lambda} \|\zeta - \bar{\zeta}\|$, $\bar{\lambda} > 0$ 为常数, 非线性项 φ_n 是关于 ξ 的全局 Lipschitz 函数, 则观测器(15)是指数收敛的.

证明 定义 $\begin{pmatrix} x(t) \\ z(t) \\ \bar{v}(t) \end{pmatrix} = \zeta(t) = \Phi^{-1}(\xi(t))$ 是系

统(2)的轨迹, 从定理 1 知, $\hat{\xi}(t)$ 指数收敛于 $\xi(t)$.

定义 $\begin{pmatrix} \hat{x}(t) \\ \hat{z}(t) \\ \dot{\bar{v}}(t) \end{pmatrix} = \hat{\zeta}(t) = \Phi^{-1}(\hat{\xi}(t))$, 经验证 $\hat{\zeta}(t)$

满足(15).

由假设 5 知, $\|\Phi(\zeta) - \Phi(\bar{\zeta})\| \geq \lambda \|\zeta - \bar{\zeta}\|$, 表明 $\hat{\zeta}(t)$ 指数收敛于 $\zeta(t)$. 证毕.

3 数值仿真

下面利用本文所提出的方法, 考虑如下非线性 DAE 子系统的状态观测问题:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + x_1 \cdot \sin(1 - z)^2, \\ \dot{x}_2 = u + x_2^3 \cdot \bar{v} \cdot u, \\ 0 = g(x, z, \bar{v}) = z^2 + x_1^2 + x_2^2 - 1, \\ y = x_1. \end{cases} \quad (16)$$

对应系统(2), 这里

$$\begin{cases} f_1(x, z, \bar{v}) = \begin{pmatrix} x_2 + x_1 \cdot \sin(1 - z)^2 \\ 0 \end{pmatrix}, \\ f_2(x, z, \bar{v})u = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 + x_2^3 \cdot \bar{v} \end{pmatrix} \cdot u. \end{cases} \quad (17)$$

定义 $\Omega = \{(x_1, x_2, z) \in \mathbf{R}^3 : z^2 + x_1^2 + x_2^2 - 1 = 0, z > 0\}$ 注意到系统平衡点为 $(x_1, x_2, z) = (0, 0, 1) \in \Omega$, 关联输入选取为 $\bar{v} = 5\sin(10t)$, 关联输入 \bar{v} 及其充分阶次导数为本地可测的.

坐标变换定义为

$$(\xi_1, \xi_2, \chi) = (x_1, x_2, z^2 + x_1^2 + x_2^2 - 1). \quad (18)$$

可以验证式(18)为 Ω 上的一个微分同胚, 将(15)等价转化为

$$\begin{cases} \dot{\xi}_1 = \xi_2 + \xi_1 \cdot \sin(1-z)^2, \\ \dot{\xi}_2 = u + \xi_2^3 \cdot \bar{v} \cdot u, \\ \dot{\chi} = 0, \\ y = \xi_1. \end{cases} \quad (19)$$

可以验证系统(17)满足假设1—4, 与式(2)对应. 这里 $\varphi_1(\xi_1, \xi_2, \chi) = \xi_1 \cdot \sin(1-z)^2$, $\varphi_2(\xi_1, \xi_2, \chi) = \xi_2^3 \cdot \bar{v} \cdot u$ 满足下三角结构的条件. 下面验证假设5成立.

$$\begin{aligned} & \| \varphi_1(\xi_1, \xi_2, \chi) - \varphi_1(\bar{\xi}_1, \bar{\xi}_2, \bar{\chi}) \| = \\ & \| \xi_1 \cdot \sin(1-z)^2 - \bar{\xi}_1 \cdot \sin(1-z)^2 \| = \\ & \| \xi_1 - \bar{\xi}_1 \| \cdot \| \sin(1-z)^2 \| \leq \\ c_1 & \| \xi_1 - \bar{\xi}_1 \| \| \varphi_2(\xi_1, \xi_2, \chi) - \varphi_2(\bar{\xi}_1, \bar{\xi}_2, \bar{\chi}) \| = \\ & \| \xi_2^3 \cdot \bar{v} \cdot u - \bar{\xi}_2^3 \cdot \bar{v} \cdot u \| = \\ & \| \xi_2 - \bar{\xi}_2 \| \cdot \| \xi_2^2 + \xi_2 \cdot \bar{\xi}_2 + \bar{\xi}_2^2 \| \cdot \| \bar{v} \cdot u \| \leq \\ c_2 & \| \xi_2 - \bar{\xi}_2 \|, \end{aligned} \quad (20)$$

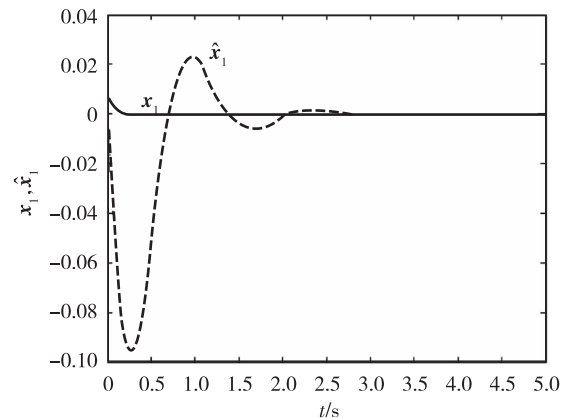
其中 c_1 和 c_2 为大于零的常数, 满足 Lipschitz 条件, 假设5成立. 由定理2, 对系统(19)构造如下初始化非线性高增益观测器:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\xi}}_1 = \hat{\xi}_2 + \hat{\xi}_1 \cdot \sin(1-z)^2 + \theta(\hat{\xi}_1 - y), \\ \dot{\hat{\xi}}_2 = u + \hat{\xi}_2^3 \cdot \bar{v} \cdot u + \theta^2(\hat{\xi}_1 - y), \\ \dot{\hat{z}} = -\frac{1}{\hat{z}}(\hat{\xi}_1 \cdot \hat{\xi}_{1,1} + \hat{\xi}_2 \cdot \hat{\xi}_{2,2}), \\ g(\hat{\xi}(0), \hat{z}(0), \bar{v}(0)) = 0. \end{cases} \quad (21)$$

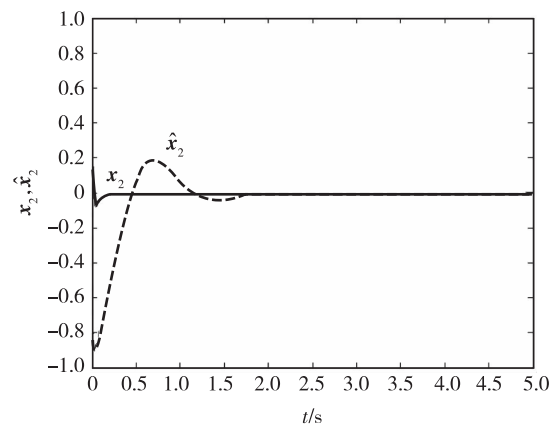
对系统(16)选取有界输入为 $u = -125(x_2 + 15x_1)$, 选取参数 $\theta = 5$, 这里系统(16)和(21)的初始状态设定为 $(x_1(0), x_2(0), z(0), \hat{\xi}_1(0), \hat{\xi}_2(0), \hat{\chi}(0)) = (0, 1, 0, 0, 0, 1)$, 此时系统满足代数约束方程, 是初始化的. 仿真结果如图2所示, 可见整个系统(16)和(21)是渐近稳定的, 系统状态渐近收敛于平衡点.

4 结论

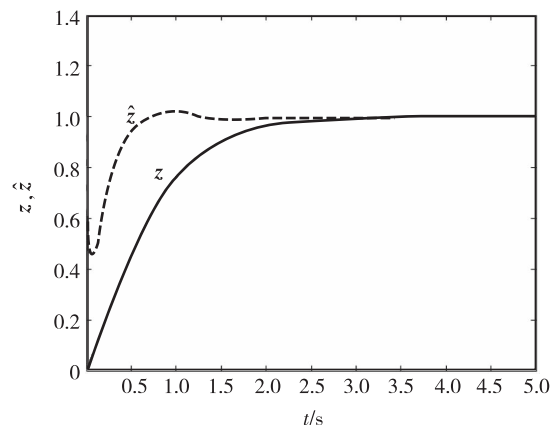
本文研究了一类非线性 DAE 子系统的初始化高增益观测器设计问题, 所提出的状态高增益观测



a. 微分变量 x_1 及其估计 \hat{x}_1 的瞬时响应



b. 微分变量 x_2 及其估计 \hat{x}_2 的瞬时响应



c. 代数变量 z 及其估计 \hat{z} 的瞬时响应

图2 非线性 DAE 子系统(16)和观测器(21)的瞬时响应

Fig. 2 The instant responses of the nonlinear DAE subsystem(16) and its observer(21), for differential variable x_1 and its observer estimate \hat{x}_1 , for differential variable x_2 and its observer estimate \hat{x}_2 , and for algebraic variable z and its observer estimate \hat{z}

器是非线性的和初始化的. 通过非线性微分同胚, 实现系统的等价变换, 然后, 对等价系统给出了初始化

的状态观测器设计,使得状态观测误差是指数收敛的,整个系统是渐近稳定的,但是初始化的观测器需要没有干扰和满足代数方程的约束条件.

参考文献

References

- [1] 王杰,陈陈. 电力系统中微分代数模型的非线性控制[J]. 中国电机工程学报,2001,21(8):15-18
WANG Jie, CHEN Chen. Nonlinear control of differential algebraic model in power systems[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2001, 21(8): 15-18
- [2] 张凯峰,戴先中,齐辉,等. 复杂电力系统的元件结构化模型分析与应用[J]. 中国电机工程学报,2007,27(13):24-28
ZHANG Kaifeng, DAI Xianzhong, QI Hui, et al. Analysis and application of component structural model of complex power systems[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2007, 27(13): 24-28
- [3] 马克茂,王子才,史小平. 一类非线性系统的观测器设计[J]. 控制理论与应用,1998,15(3):443-446
MA Kemao, WANG Zicai, SHI Xiaoping. Observer design for a class of nonlinear systems[J]. Control Theory & Applications, 1998, 15(3): 443-446
- [4] 臧强,戴先中. 非线性微分-代数系统的输出反馈镇定控制[J]. 自动化学报,2009,35(9):1244-1248
ZANG Qiang, DAI Xianzhong. Output feedback stabilization control for nonlinear differential-algebraic equation systems[J]. Acta Automatica Sinica, 2009, 35(9): 1244-1248
- [5] 臧强,叶薛飞,林前程,等. 基于神经网络方法的不确定非线性微分-代数子系统的鲁棒反推镇定控制[J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版,2012,4(5):340-344
ZANG Qiang, YE Xuefei, LIN Qiancheng, et al. Robust backstepping stabilization control for uncertain nonlinear differential-algebraic equations subsystems based-on artificial neural networks[J]. Journal of Nanjing University of Information Sciences and Technology: Natural Science Edition, 2012, 4(5): 340-344
- [6] 赵新良. 动态投入产出[M]. 沈阳:辽宁人民出版社,1991
ZHAO Xinliang. Dynamic input-output[M]. Shenyang: Liaoning People's Publishing House, 1991
- [7] 张庆灵. 广义大系统的分散控制与鲁棒控制[M]. 西安:西北工业大学出版社,1982
ZHANG Qingling. Decentralized control and robust control for singular systems[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 1982
- [8] 戴先中,张凯峰. 复杂电力系统的接口概念与结构化模型[J]. 中国电机工程学报,2007,27(7):7-12
DAI Xianzhong, ZHANG Kaifeng. Interface concept and structural model of complex power systems[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2007, 27(7): 7-12
- [9] Zang Q, Dai X Z, Zhang K F. Asymptotic stabilization for a class of nonlinear differential-algebraic equations subsystems[C] // Proceedings of the 3rd International Conference on Impulsive Dynamic Systems and Applications, 2006: 1434-1439
- [10] Zang Q, Dai X Z, Zhang K F. Backstepping control for a class of nonlinear differential-algebraic equations subsystems with application to power system[C] // Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008: 4668-4673
- [11] 戴先中,张凯峰,臧强. 基于结构化模型的电力系统元件非线性分散控制方法[J]. 中国电机工程学报,2007,28(22):15-22
DAI Xianzhong, ZHANG Kaifeng, ZANG Qiang. Nonlinear decentralized control method of power systems based on component structural model[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2007, 28(22): 15-22
- [11] Wang J, Chen C. Exact linearization of nonlinear control of differential algebraic systems[C] // Proceedings of International Conference on Info-Tech and Info-Net, 2001: 284-290

Initialized high gain observer design for nonlinear differential-algebraic equation subsystems

CHEN Weifeng¹ ZHOU Quan¹ ZANG Qiang¹

¹ School of Information and Control, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract In this paper, the problem of state observation for a class of nonlinear differential-algebraic equation (DAE) subsystem is considered and a design scheme of initialized high gain observer is proposed. There are two steps for this observer design. Firstly, the equivalent transformation of the system is achieved by a nonlinear diffeomorphism transformation. Then for the equivalent system, an initialized state observer design is given to make observation error converge exponentially. Finally, a numerical simulation is presented and the simulation results verify the effectiveness of the proposed method.

Key words differential-algebraic equation subsystems; nonlinear systems; high gain observer; initialization