

一类基于观测器的短时延网络控制系统的建模和稳定性分析

肖元, 金朝永

(广东工业大学 应用数学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 针对一类不确定的短时延网络控制系统, 利用全阶状态观测器作为对网络诱导时延的补偿, 定义了一个新的状态变量, 得到了短时延网络控制系统的离散模型. 根据 Lyapunov 稳定性理论和矩阵知识, 给出了该闭环系统渐近稳定的充分条件, 并基于线性矩阵不等式的可行解给出了状态反馈控制律. 仿真结果表明该方法有效可行.

关键词: 网络控制系统; 不确定时延; 线性矩阵不等式; 全阶状态观测器; 李亚普诺夫函数

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2010)04-0085-04

自上世纪90年代以来, 伴随着控制技术和计算机网络技术的飞速发展, 网络与控制逐渐紧密结合, 形成了一个新兴的发展方向: 网络控制系统(networked control systems, NCS). 网络环境下的新型管理信息系统和控制系统不仅可以应用于复杂的工业控制领域, 而且在兵器系统、机器人工业航空及航天领域也极具潜力. 其中较为典型的案例有现场总线控制、基于工业以太网的控制、基于 Internet 的远程控制、远程手术、自动化的高速公路系统、无人驾驶的飞行器以及“勇气号”火星车星际遥控操作控制.

NCS 是指通过网络形成闭环的实时反馈控制系统. 其中传感器、控制器和执行器作为网络的节点直接连接在通信网络上, 通过共享网络进行数据信息的交换. 这种网络化的控制模式相对于传统点对点控制模式, 具有成本低、连线少、易于安装维护和扩展、系统的可靠性与灵活性高, 可实现资源共享等诸多优点. 但由于通过网络在控制系统的各部件(传感器、控制器、执行器)之间传输交换, 所以必然会引起网络诱导时延. 网络时延与网络拓扑结构、网络的负载状况和传输速率信息包大小等因素有关. 随采用的传输协议不同, 网络时延可能是固定的、随机的或不确定的. 网络时延会导致控制系统性能的下降甚至破坏系统的稳定性. 因此, 网络时延在网络控制领域越来越受到关注.

张勇等人^[1]研究了一类长时延网络非线性控制系统的最优控制, 没有设计补偿器作为对时延的补偿. 陈载平等人^[2]针对网络诱导时延的网络控制系

统, 设计了一个新的全阶状态观测器作为对时延的补偿, 但是并没有在此基础上做进一步的稳定性分析与综合. 本文在文献[1-4]的基础上, 拟研究一类具有短时延的网络控制系统的建模及其稳定性问题, 建立离散模型, 并对稳定性进行分析, 给出控制律. 最后给出一个数值例子.

1 系统描述及引理

典型的网络控制系统结构如图1所示. 被控对象的模型可以表示为

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t). \end{cases} \quad (1)$$

其中, $x(t) \in R^n$ 是系统状态变量, $u(t) \in R^m$ 是输入变量, $y(t) \in R^p$ 是输出变量, A 、 B 、 C 是适维的常系数矩阵.

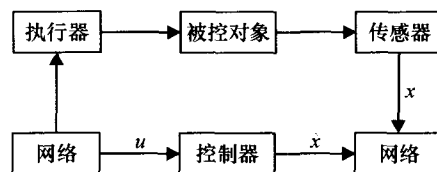


图1 网络控制系统模型

针对图1所示的网络控制系统, 本文作以下假设.

假设1 传感器的节点是时间驱动的, 以固定的周期 $T(T>0)$ 对被控对象采样, 并将数据存放在单个的数据包中进行传输.

假设2 控制器节点为事件驱动, 采样数据到达时刻计算控制量并输出.

收稿日期: 2010-09-02

作者简介: 肖元(1987-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为微分动力系统.

假设3 执行器节点也为事件驱动,控制量到达时刻执行相应的动作.

假设4 网络传输存在时延, $\tau_k = \tau_{sc}^k + \tau_{ca}^k + \tau_c^k$, 其中 τ_{sc}^k 表示第 k 个采样时刻传感器到控制器传输时延, τ_{ca}^k 表示第 k 个采样时刻控制器到执行器的传输时延, τ_c^k 表示第 k 个采样时刻离散控制器的数据计算与处理时延, 随所执行操作的计算量不同而变化, 但实际上, τ_c^k 比 τ_{sc}^k 和 τ_{ca}^k 小很多, 而且可以通过适当的软硬件设计来进一步减小, 因此, 通常将其归入 τ_{ca}^k 或者忽略, 即 $\tau_k = \tau_{sc}^k + \tau_{ca}^k$.

假设5 不考虑通信网络中噪声的影响, 网络传输过程中无数据包丢失.

根据以上的假设, 网络控制系统的广义被控对象离散模型是

$$\mathbf{x}((k+1)T) = \Phi \mathbf{x}(kT) + \Gamma_0(\tau_k) \mathbf{u}(kT) + \Gamma_1(\tau_k) \mathbf{u}((k-1)T). \quad (2)$$

采用无记忆的状态反馈控制律

$$\mathbf{u}(kT) = -\mathbf{K} \mathbf{x}(kT). \quad (3)$$

其中, $\Phi = e^{AT}$, $\mathbf{K}$ 为状态反馈增益矩阵,

$$\Gamma_0(\tau_k) = \int_0^{T-\tau_k} e^{As} \mathbf{B} ds, \Gamma_1(\tau_k) = \int_{T-\tau_k}^T e^{As} \mathbf{B} ds.$$

设计一个全阶状态观测器作为对网络诱导时延的补偿, 状态观测器表示为

$$\hat{\mathbf{x}}((k+1)T) = \hat{\mathbf{x}}((k+1)T) - e^{(A-GC)T} [\mathbf{x}(kT) - \hat{\mathbf{x}}(kT)]. \quad (4)$$

令

$$\mathbf{e}((k+1)T) = \mathbf{x}((k+1)T) - \hat{\mathbf{x}}((k+1)T), \quad (5)$$

为简便起见, 将所有的 T 省略不写, 即

$$\mathbf{x}((k+1)T) = \mathbf{x}(k+1). \quad (6)$$

重新定义一个新的变量

$$\mathbf{z}(k) = \begin{pmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{e}(k) \end{pmatrix}, \quad (7)$$

有

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}(k+1) \\ \mathbf{e}(k+1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Phi - \Gamma_0(\tau_k) \mathbf{K} & \Gamma_0(\tau_k) \mathbf{K} \\ 0 & e^{(A-GC)T} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{e}(k) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\Gamma_1(\tau_k) \mathbf{K} & \Gamma_1(\tau_k) \mathbf{K} \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}(k-1) \\ \mathbf{e}(k-1) \end{pmatrix}, \quad (8)$$

则网络控制离散系统可以写成

$$\mathbf{z}(k+1) = \bar{\mathbf{A}} \mathbf{z}(k) + \bar{\mathbf{B}} \mathbf{z}(k-1), \quad (9)$$

其中,

$$\bar{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} \Phi - \Gamma_0(\tau_k) \mathbf{K} & \Gamma_0(\tau_k) \mathbf{K} \\ 0 & e^{(A-GC)T} \end{pmatrix}, \quad \bar{\mathbf{B}} = \begin{pmatrix} -\Gamma_1(\tau_k) \mathbf{K} & \Gamma_1(\tau_k) \mathbf{K} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

引理1 (Schur 补) 给定常数矩阵 $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{Q}$, 其中 $\mathbf{Q} = \mathbf{Q}^T$, $\mathbf{P} = \mathbf{P}^T > 0$, 则 $\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} + \mathbf{Q} < 0$ 成立, 当且仅当

$$\begin{pmatrix} -\mathbf{P}^{-1} & \mathbf{A} \\ \mathbf{A}^T & \mathbf{Q} \end{pmatrix} < 0 \text{ 或 } \begin{pmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{A}^T \\ \mathbf{A} & -\mathbf{P}^{-1} \end{pmatrix} < 0. \quad (10)$$

引理2 对于给定的适维矩阵 $\mathbf{Y}$ 、 $\mathbf{D}$ 和 $\mathbf{E}$, 其中 $\mathbf{Y}$ 是对称阵, 若不等式 $\mathbf{Y} + \mathbf{D} \mathbf{F} \mathbf{E} + \mathbf{E}^T \mathbf{F}^T \mathbf{D}^T < 0$ 成立, 则存在一个常数 $\varepsilon > 0$, 对于所有满足 $\mathbf{F}^T(\tau_k) \mathbf{F}(\tau_k) \leq \mathbf{I}$ 的矩阵, 有不等式 $\mathbf{Y} + \varepsilon \mathbf{D} \mathbf{D}^T + \varepsilon^{-1} \mathbf{E}^T \mathbf{E} < 0$ 均成立.

2 主要结论及证明

定理1 对于式(9)所描述的网络控制系统, 采用无记忆的状态反馈控制器 $\mathbf{u}(k) = -\mathbf{K} \mathbf{x}(k)$, 如果存在对称正定矩阵 $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{Q}$, 矩阵 $\mathbf{K}$ 使矩阵不等式(11)成立, 那么, 网络控制系统(9)是渐近稳定的.

$$\begin{pmatrix} -\mathbf{P} + \mathbf{Q} & 0 & \bar{\mathbf{A}}^T \\ 0 & -\mathbf{Q} & \bar{\mathbf{B}}^T \\ \bar{\mathbf{A}} & \bar{\mathbf{B}} & -\mathbf{P}^{-1} \end{pmatrix} < 0. \quad (11)$$

证明 选取如下的 Lyapunov 函数:

$$\mathbf{V}(k) = \mathbf{z}(k)^T \mathbf{P} \mathbf{z}(k) + \mathbf{z}(k-1)^T \mathbf{Q} \mathbf{z}(k-1), \quad (12)$$

其中, $\mathbf{P}$ 、 $\mathbf{Q}$ 为对称正定矩阵, 显然有 $\mathbf{V}(k) > 0$.

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{V}(k) &= \mathbf{V}(k+1) - \mathbf{V}(k) = \mathbf{z}(k+1)^T \mathbf{P} \mathbf{z}(k+1) + \\ &\quad \mathbf{z}(k)^T \mathbf{Q} \mathbf{z}(k) - \mathbf{z}(k)^T \mathbf{P} \mathbf{z}(k) - \mathbf{z}(k-1)^T \mathbf{Q} \mathbf{z}(k-1) = \\ &\quad (\bar{\mathbf{A}} \mathbf{z}(k) + \bar{\mathbf{B}} \mathbf{z}(k-1))^T \mathbf{P} (\bar{\mathbf{A}} \mathbf{z}(k) + \bar{\mathbf{B}} \mathbf{z}(k-1)) + \\ &\quad \mathbf{z}(k)^T \mathbf{Q} \mathbf{z}(k) - \mathbf{z}(k)^T \mathbf{P} \mathbf{z}(k) - \mathbf{z}(k-1)^T \mathbf{Q} \mathbf{z}(k-1) = \\ &\quad \mathbf{z}(k)^T (\bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}}) \mathbf{z}(k) + \mathbf{z}(k)^T \mathbf{Q} \mathbf{z}(k) + \\ &\quad \mathbf{z}(k)^T (\bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}}) \mathbf{z}(k-1) + \mathbf{z}(k-1)^T (\bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}}) \mathbf{z}(k) + \\ &\quad \mathbf{z}(k-1)^T (\bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}} - \mathbf{Q}) \mathbf{z}(k-1) - \mathbf{z}(k)^T \mathbf{P} \mathbf{z}(k) = \\ &\quad \mathbf{z}(k)^T (\bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}} + \mathbf{Q} - \mathbf{P}) \mathbf{z}(k) + \mathbf{z}(k)^T (\bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}}) \mathbf{z}(k-1) + \\ &\quad \mathbf{z}(k-1)^T (\bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}}) \mathbf{z}(k) + \mathbf{z}(k-1)^T (\bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}} - \mathbf{Q}) \times \\ &\quad \mathbf{z}(k-1) = (\mathbf{z}(k)^T \mathbf{z}(k-1)^T) \mathbf{A} \begin{pmatrix} \mathbf{z}(k) \\ \mathbf{z}(k-1) \end{pmatrix}, \quad (13) \end{aligned}$$

其中,

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}} + \mathbf{Q} - \mathbf{P} & \bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}} \\ \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}} & \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}} - \mathbf{Q} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

若 $\mathbf{A} < 0$, 即 $\Delta \mathbf{V}(k) < 0$, 则闭环系统是渐近稳定的, 则只要满足 $\mathbf{A} < 0$ 即可. 又

$$\begin{pmatrix} \bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}} + \mathbf{Q} - \mathbf{P} & \bar{\mathbf{A}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}} \\ \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{A}} & \bar{\mathbf{B}}^T \mathbf{P} \bar{\mathbf{B}} - \mathbf{Q} \end{pmatrix} < 0, \quad (15)$$

等价于

$$\begin{pmatrix} -\mathbf{P} + \mathbf{Q} & 0 \\ 0 & -\mathbf{Q} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \bar{\mathbf{A}}^T \\ \bar{\mathbf{B}}^T \end{pmatrix} \mathbf{P} \begin{pmatrix} \bar{\mathbf{A}} & \bar{\mathbf{B}} \end{pmatrix} < 0. \quad (16)$$

由 Schur 补引理, 式(16)等价于式(11). 证毕.

定理2 对于式(9)所描述的短时延网络控制系统,采用无记忆的状态反馈控制 $u(k) = -Kx(k)$, 若存在对称正定阵 X, Y , 常数 $\varepsilon > 0$ 以及状态反馈增益矩阵 K , 使得矩阵不等式(17)成立, 那么, 网络控制系统(9)是渐近稳定的.

$$\begin{pmatrix} -X & 0 & X(\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})^T & X(E\bar{K})^T & X \\ 0 & -Y & Y(\bar{\Gamma}_1 \bar{K})^T & -Y(E\bar{K})^T & 0 \\ (\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})X & \bar{\Gamma}_1 \bar{K}Y & -X + \varepsilon \bar{D}\bar{D}^T & 0 & 0 \\ E\bar{K}X & -E\bar{K}Y & 0 & -\varepsilon I & 0 \\ X & 0 & 0 & 0 & -Y \end{pmatrix} < 0. \quad (17)$$

证明: 利用文献[3]中的结论, 可以将 $\Gamma_0(\tau_k)$ 、 $\Gamma_1(\tau_k)$ 表示为

$$\Gamma_0(\tau_k) = \Gamma_0 + DF(\tau_k)E, \quad (18)$$

$$\Gamma_1(\tau_k) = \Gamma_1 - DF(\tau_k)E, \quad (19)$$

且

$$F^T(\tau_k)F(\tau_k) \leq I. \quad (20)$$

将式(18)~(20)代入 $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 中, 则有

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} \Phi - (\Gamma_0 + DF(\tau_k)E)K & \Gamma_0 K + DF(\tau_k)EK \\ 0 & e^{(A-GC)\tau} \end{pmatrix}, \quad (21)$$

$$\bar{B} = \begin{pmatrix} -(\Gamma_1 - DF(\tau_k)E)K & \Gamma_1 K - DF(\tau_k)EK \\ 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (22)$$

令

$$\bar{\Phi} = \begin{pmatrix} \Phi & 0 \\ 0 & e^{(A-GC)\tau} \end{pmatrix}, \bar{\Gamma}_0 = \begin{pmatrix} -\Gamma_0 \\ \Gamma_0 \end{pmatrix},$$

$$\bar{\Gamma}_1 = \begin{pmatrix} -\Gamma_1 \\ \Gamma_1 \end{pmatrix}, \bar{D} = \begin{pmatrix} -D \\ D \end{pmatrix},$$

$$\bar{K} = (K \ 0).$$

则有

$$\bar{A} = \bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K} + \bar{D}F(\tau_k)E\bar{K}, \quad (23)$$

$$\bar{B} = \bar{\Gamma}_1 \bar{K} - \bar{D}F(\tau_k)E\bar{K}. \quad (24)$$

在不等式(11)中代入矩阵 $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 的表达式, 则不等式(11)可以表示为

$$\begin{pmatrix} -P+Q & 0 & (\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})^T \\ 0 & -Q & (\bar{\Gamma}_1 \bar{K})^T \\ \bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K} & \bar{\Gamma}_1 \bar{K} & -P^{-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & (\bar{D}F(\tau_k)E\bar{K})^T \\ 0 & 0 & -(\bar{D}F(\tau_k)E\bar{K})^T \\ \bar{D}F(\tau_k)E\bar{K} & -\bar{D}F(\tau_k)E\bar{K} & 0 \end{pmatrix} < 0. \quad (25)$$

不等式(25)可以进一步表示成

$$\begin{pmatrix} -P+Q & 0 & (\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})^T \\ 0 & -Q & (\bar{\Gamma}_1 \bar{K})^T \\ \bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K} & \bar{\Gamma}_1 \bar{K} & -P^{-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} (E\bar{K})^T \\ - (E\bar{K})^T \\ 0 \end{pmatrix} F(\tau_k)^T (0 \ 0 \ \bar{D}^T) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{D} \end{pmatrix} F(\tau_k) (E\bar{K} \ -E\bar{K} \ 0) < 0. \quad (26)$$

因为 $F(\tau_k)^T F(\tau_k) \leq I$, 由引理2, 式(26)等价于

$$\begin{pmatrix} -P+Q & 0 & (\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})^T \\ 0 & -Q & (\bar{\Gamma}_1 \bar{K})^T \\ \bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K} & \bar{\Gamma}_1 \bar{K} & -P^{-1} \end{pmatrix} + \varepsilon (0 \ 0 \ \bar{D})^T (0 \ 0 \ \bar{D}^T) + \varepsilon^{-1} ((E\bar{K})^T \ - (E\bar{K})^T \ 0)^T (E\bar{K} \ -E\bar{K} \ 0) < 0, \quad (27)$$

即

$$\begin{pmatrix} -P+Q & 0 & (\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})^T \\ 0 & -Q & (\bar{\Gamma}_1 \bar{K})^T \\ \bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K} & \bar{\Gamma}_1 \bar{K} & -P^{-1} + \varepsilon \bar{D}\bar{D}^T \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} (E\bar{K})^T \\ - (E\bar{K})^T \\ 0 \end{pmatrix} \varepsilon^{-1} (E\bar{K} \ -E\bar{K} \ 0) < 0. \quad (28)$$

由于 $\varepsilon > 0$, 运用引理1, 式(28)等价于

$$\begin{pmatrix} -P+Q & 0 & (\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})^T & (E\bar{K})^T \\ 0 & -Q & (\bar{\Gamma}_1 \bar{K})^T & - (E\bar{K})^T \\ \bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K} & \bar{\Gamma}_1 \bar{K} & -P^{-1} + \varepsilon \bar{D}\bar{D}^T & 0 \\ E\bar{K} & -E\bar{K} & 0 & -\varepsilon I \end{pmatrix} < 0. \quad (29)$$

对式(29)再次运用引理1, 等价于

$$\begin{pmatrix} -P & 0 & (\bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K})^T & (E\bar{K})^T & I \\ 0 & -Q & (\bar{\Gamma}_1 \bar{K})^T & - (E\bar{K})^T & 0 \\ \bar{\Phi} + \bar{\Gamma}_0 \bar{K} & \bar{\Gamma}_1 \bar{K} & -P^{-1} + \varepsilon \bar{D}\bar{D}^T & 0 & 0 \\ E\bar{K} & -E\bar{K} & 0 & -\varepsilon I & 0 \\ I & 0 & 0 & 0 & -Q^{-1} \end{pmatrix} < 0. \quad (30)$$

式(30)分别左乘右乘 $\text{diag}(P^{-1}, Q^{-1}, I, I, I)$, 并令 $X = P^{-1}$, $Y = Q^{-1}$, 矩阵不等式(30)等价于(17). 证毕.

3 仿真算例

考虑被控对象的状态方程为

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -0.1 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 0.1 \end{pmatrix} u(t), \quad (31)$$

$$y(t) = (1 \ 0)x(t). \quad (32)$$

取采样周期 $T = 1\text{s}$, 网络诱导时延 $\tau_k \in [0, 1\text{s}]$ 且是时变、不确定的, 假设被控对象的初始状态是 $[1; -1]$; 运用 Matlab LMI 工具包求解 (17) 可得 $K = [0.053 \ 6, 0.023 \ 6]$. 可知在上述条件下系统是渐近稳定的.

4 结束语

针对一类短时延的网络控制系统, 假定系统的传感器是时间驱动, 而控制器和执行器是事件驱动的. 利用全阶状态观测器作为对时延的补偿, 重新定义了一个状态变量, 构造了系统的模型; 并利用 Lyapunov 稳定性理论和矩阵知识, 给出了该系统渐近稳定的充分条件; 通过 LMI 工具箱的求解, 得出状态反馈控制律. 仿真表明该方法的有效性与可行性.

参考文献:

- [1] Zhang Yong, Tang Gong-You, Hu Nai-Ping. Non-f-ragile control for nonlinear networked control systems with long time-delay[J]. Computers and Mathematics with Applications, 2009, 57: 1630-1637.
- [2] Chen Zai-ping, Li Liang, Zhang Jiang-feng. Observer Based networked control systems with the network-induced time delay[C] // 2004 IEEE international conference on systems man and Cybernetics 7, 2004: 3333-3337.
- [3] Li Jiang-guo, Yuan Jing-qi, Lu Jun-guo. Observer-based control for networked nonlinear systems with random packet loses[J]. ISA Transactions.
- [4] 谢成祥, 樊卫华, 胡维礼. 一类短时延网络控制系统的建模和控制方法[J]. 南京理工大学学报, 2009, 4 (33): 156-160.
- [5] 王珍珍, 崔宝同. 具有不确定性的网络控制系统控制器设计[C] // 2007 年中国控制与决策学术年会论文集, 2007: 719-721.
- [6] 郭晓军, 袁阳. 不确定时延网络控制系统的建模和稳定性研究[J]. 湖南工业大学学报, 2008, 9(22): 65-69.
- [7] 张喜民, 李建东, 张建国. 网络控制系统的鲁棒保性能控制[J]. 西安电子科技大学学报: 自然科学版, 2008, 35 (1): 96-100.

Modeling and Stabilization Analysis of Observer-based Networked Control Systems with Time-delay

Xiao Yuan, Jin Chao-yong

(Faculty of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Considering a class of uncertain networked control systems with short time-delay, it proposes a discrete model, in which a full-order observer is utilized to compensate network-induced delay, by defining an augmented state vector, based on Lyapunov stability theory and matrix theory. Sufficient conditions for asymptotic stability of closed-loop systems were derived, and the state feedback controller was obtained, based on the feasible solution of the linear matrix inequalities (LMI). The simulation results verify the validity of the proposed method.

Key words: networked control systems; uncertain time-delay; linear matrix inequalities; full-order observer of the state; Lyapunov function