

不确定离散系统量化反馈镇定

薛春善, 童艳春, 王岩岩, 刘伟

(周口师范学院 数学与统计学院, 河南 周口 466001)

摘要: 研究不确定离散系统的量化反馈控制问题. 借助于基于模型的方法, 利用网络将不确定受控系统和模型系统进行连接, 通过设计有效的量化方法和控制规则, 给出了闭环系统全局渐近稳定的充分条件. 最后, 仿真结果说明了所提方法的有效性.

关键词: 离散系统; 不确定系统; 稳定性; 量化

中图分类号: TP273

文献标志码: A

近年来, 随着网络通信技术的快速发展, 网络控制系统已被广泛应用于工业控制的各个领域. 与传统控制系统相比, 它通过共享网络实现了系统结构更具柔性和降低维护成本等优点. 但由于网络的承载能力和通信带宽有限等原因, 传感器、控制器和执行器之间通过网络对数据进行传输时, 不可避免地会存在网络时延甚至丢失等问题^[1-7]. 因此, 如何减少带宽限制对网络控制系统的影响具有十分重要的实际意义, 同时这一问题已引起学者们的广泛关注. 在2003年, Montestruque 等人在对开环和闭环控制的优缺点进行比较的基础上, 提出了在控制器端装置原系统的模型系统来设计控制器的控制方式, 即基于模型的方法. 这一控制方式通过系统的自主运行, 即无反馈的开环方式来增大传输间隔从而不仅大大减少了网络对带宽的依赖, 而且对系统的稳定具有鲁棒性^[8-10]. 这种方法甚至对具有网络时延的奇异扰动系统依然适用^[11].

在多数网络控制系统的研究中, 数据往往被假定通过网络进行精准的传输, 事实上, 在实际网络控制系统中, 考虑到网络传输能力以及系统的控制器的安全限制, 信号通过网络传输前需要利用量化器对其进行采样、量化、编码等处理. 而这些处理不可避免地会引起量化误差, 从而对系统的性能产生一定的影响. 因此, 必须考虑量化误差对系统的影响, 关于这一问题的研究已成为一个新的热点研究方向^[12-18]. 考虑到基于模型的方法具有如上所述的诸多优点. 因此, 本文针对一类不确定离散系统, 通过设计有效的量化方法和控制规则, 研究系统在基于模型的情况下的量化控制问题.

1 问题描述

本文考虑如下不确定离散系统:

$$x(n+1) = (A + \Delta A)x(n) + (B + \Delta B)u(n), \quad (1)$$

其中: $x \in \mathbf{R}^n$ 为系统状态, $u \in \mathbf{R}^p$ 为系统控制输入. 模型系统为

$$\hat{x}(n+1) = A\hat{x}(n) + Bu(n), \quad (2)$$

其中: $\hat{x} \in \mathbf{R}^n$ 为模型系统的状态. 控制器为

$$u(n) = K\hat{x}(n), \quad (3)$$

其中 K 为控制增益矩阵. 这里 $n \in [n_k, n_{k+1})$, n_k 为更新时间, 并且本文假定采样周期 $h = n_{k+1} - n_k > 0$

收稿日期: 2015-10-13; 修回日期: 2016-02-21.

基金项目: 国家自然科学基金(11171113); 河南省科技计划项目(142300410464); 河南省高等学校重点科研项目(16A110006).

第1作者简介: 薛春善(1969—), 男, 河南周口人, 周口师范学院副教授, 研究方向为系统分析与控制, E-mail: xuechunshan@163.com.

通信作者: 刘伟, E-mail: liuweicnu@163.com.

为整数.

定义状态误差 $e(n) = x(n) - x(n)$.

则整体闭环系统可描述为 $\begin{pmatrix} x(n+1) \\ e(n+1) \end{pmatrix} = \Lambda \begin{pmatrix} x(n) \\ e(n) \end{pmatrix}, n \in [n_k, n_{k+1}), e(n_k) = 0$, 其中 $\Lambda = \begin{pmatrix} (A + \Delta A) + (B + \Delta B)K & (B + \Delta B)K \\ -(\Delta A + \Delta BK) & A - \Delta BK \end{pmatrix}$.

定理 1^[8] 基于模型的网络控制系统(1)关于解 $z = (x \ e)^T = (0 \ 0)^T$ 为全局指数稳定的充要条件是测试矩阵 $Q = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \Lambda^h \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$, 特征值严格的在单位圆内.

为了揭示系统的稳定性与系统模型之间的联系,对测试矩阵做进一步的分析.令 $P = \begin{pmatrix} I_n & -I_n \\ 0 & I_n \end{pmatrix}$. 则有 $\Lambda = P\bar{\Lambda}P^{-1}$, 其中 $\bar{\Lambda} = \begin{pmatrix} A + BK & 0 \\ -(\Delta A + \Delta BK) & A + \Delta A \end{pmatrix}$.

从而

$$\Lambda^h = P\bar{\Lambda}^h P^{-1} = \begin{pmatrix} I_n & -I_n \\ 0 & I_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} A + BK & 0 \\ -(\Delta A + \Delta BK) & A + \Delta A \end{pmatrix}^h \begin{pmatrix} I_n & I_n \\ 0 & I_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M & N \\ o(\Delta A + \Delta BK) & (A + \Delta A)^h + o(\Delta A + \Delta BK) \end{pmatrix},$$

其中 $M = (A + BK)^h - o(\Delta A + \Delta BK)$, $N = (A + BK)^h - (A + \Delta A)^h - o(\Delta A + \Delta BK)$, $o(\Delta A + \Delta BK)$ 表示 $A + BK, \Delta A + \Delta BK, A + \Delta A$ 乘积之和,且每一项均含有 $\Delta A + \Delta BK$.

进一步,则有 $\begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \Lambda^h \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$.

注 1 通过上面的分析可看到 $Q = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} e^{Ah} \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$.

定理 2 基于模型的网络控制系统(1)关于解 $z = (x \ e)^T = (0 \ 0)^T$ 为全局指数稳定的充要条件是矩阵 $M = (A + BK)^h - o(\Delta A + \Delta BK)$ 特征值严格的在单位圆内.

注 2 由定理 2 可知,若选取 K 使得 $A + BK$ 是 Schur 矩阵,则可以选取合适的 $h > 0$ 和模型误差 ΔA 和 ΔB 以减小 $o(\Delta A + \Delta BK)$ 对 $(A + BK)^h$ 的影响,从而使得 M 的特征值在单位圆内.而为了能找到 K 使 $A + BK$ 为 Schur 矩阵,只要求矩阵对 (A, B) 是可控的即可.

下面定义量化器.

量化函数 $q: \mathbf{R}^n \rightarrow D$ 是一段函数,其中 D 为 \mathbf{R}^n 的有限子集,即把 \mathbf{R}^n 划分成有限个形如 $\{z \in \mathbf{R}^n: q(z) = i, i \in D\}$ 的区域.确切地说,存在 $W > \Delta > 0$ 使得

- 1) 如果 $\|z\| \leq W$, 那么 $\|q(z) - z\| \leq \Delta$;
- 2) 如果 $\|z\| > W$, 那么 $\|q(z)\| > W - \Delta$.

注 3 条件 1) 给出了量化误差的上界 Δ . 条件 2) 给出量化器达到饱和的条件. 本文假设在原点的某领域内 $q(z) = 0$.

根据上述量化器定义,给出如下动态量化器: $q_\mu(z) = \mu q\left(\frac{z}{\mu}\right)$, 其中 $\mu > 0$ 是调焦参数. 量化上界 W_μ 和量化误差 Δ_μ 将随着 μ 的增大或减小发生相应的变化,同时量化器将对 μ 在采样时刻 n_k 处进行更新.

定义量化器的调焦规则如下:

$$\mu_{k+1} = \begin{cases} T_o \mu_k, & T_k = T_o; \\ T_i \mu_k, & T_k = T_i; \end{cases} k = 0, 1, 2, \dots, \quad (4)$$

$$\begin{cases} u(n) = 0, & T_k = T_o, \\ K\hat{x}(n), & T_k = T_i, \end{cases} \quad (5)$$

$$T_k = \begin{cases} T_o, & \|q_{\mu_k}(x(n_k))\| > \ell_o \mu_k; \\ T_i, & \|q_{\mu_k}(x(n_k))\| < \ell_i \mu_k; \\ T_{k-1}, & \|q_{\mu_k}(x(n_k))\| \in [\ell_i \mu_k, \ell_o \mu_k], \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

其中 $\ell_o > \ell_i > 0$, T_o 和 T_i 为需要设计的待定常数. 根据量化器的调焦规则可知, T_k 只取 T_o 和 T_i . 前者表示量化器在采样时刻达到了饱和状态; 后者表示量化器在采样时刻处于非饱和状态.

注 4 本文给出的量化器是动态的, 即量化上界 W_{μ_k} 的变化由 μ_k 决定, 而 μ_k 的变化由 T_k 决定. 如果系统为饱和状态, 只有 $\|q_{\mu_k}(x(n_k))\| < \ell_i \mu_k$ 时, $T_k = T_o$ 才能变为 $T_k = T_i$, 否则, u 将一直为 0. 若系统为非饱和状态, 只有量化器饱和时, $T_k = T_i$ 才能变为 $T_k = T_o$, 并且此时 $u = 0$.

根据系统初始条件的范围不同, 量化器将会处于如下 3 种情况: 1) 始终处于非饱和状态; 2) 从饱和状态转入非饱和状态; 3) 从非饱和状态转入饱和状态, 而最终进入非饱和状态.

2 主要结果

考虑整体系统 $\begin{pmatrix} x(n+1) \\ e(n+1) \end{pmatrix} = \Lambda \begin{pmatrix} x(n) \\ e(n) \end{pmatrix}, n \in [n_k, n_{k+1})$.

与没有量化时的性形相比, 在量化器的作用下, 此时误差 $e(n_k)$ 在更新时刻不再为 0. 在区间 $[n_k, n_{k+1})$ 上, 系统的解为 $\begin{pmatrix} x(n) \\ e(n) \end{pmatrix} = \Lambda^{n-n_k} \begin{pmatrix} x(n_k) \\ e(n_k) \end{pmatrix}, n \in [n_k, n_{k+1}), n_{k+1} - n_k = h$. 从而 $\begin{pmatrix} x(n_{k+1}) \\ e(n_{k+1}) \end{pmatrix} = \Lambda^h \begin{pmatrix} x(n_k) \\ e(n_k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M & N \\ o(\Delta A + \Delta BK) & (A + \Delta A)^h + o(\Delta A + \Delta BK) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(n_k) \\ e(n_k) \end{pmatrix}$, 且有 $x(n_{k+1}) = Mx(n_k) + Ne(n_k) = Mx(n_k) + N(x(n_k) - x(n_k)) = Mx(n_k) + N(q_{\mu_k}(x(n_k)) - x(n_k))$.

注意到开环与闭环之间的转换是由变量

$$\xi_k := \frac{x(n_k)}{\mu_k} \quad (7)$$

来决定的. 因此, 把动态系统方程定成描述 ξ_k 的形式, 将会对系统行为的理解更加重要. 所以在闭环阶段可写成

$$\xi_{k+1} = \frac{1}{T_i} M \xi_k + \frac{1}{T_i} N v_k, \quad (8)$$

其中 $v_k = q(\xi_k) - \xi_k$.

当网络控制系统处于开环阶段时, 由于 $u = 0$, 则系统可写成

$$x(n_{k+1}) = e^{Ah} x(n_k) =: \Phi x(n_k), \quad (9)$$

所以有 $\xi_{k+1} = \frac{1}{T_o} \Phi \xi_k$.

引理 1 假设基于模型的网络控制系统(1) 量化前为稳定的, 则存在常数 T_i, L_1, λ_1, r_1 , 使得经量化的闭环系统的解在更新时刻满足 $\|\xi_k\| \leq L_1 e^{-\lambda_1 k} \|\xi_0\| + r_1 \|v\|, \forall k \geq 0$, 其中 $\|v\| = \max\{\|q(\xi_0) - \xi_0\|, \dots, \|q(\xi_{k-1}) - \xi_{k-1}\|\}$.

证明 因为网络控制系统未量化时为稳定的, 则 $M = (A + BK)^h - o(\Delta A + \Delta BK)$ 的特征根在单位圆内, 即 M 为 Schur 矩阵, 则存在常量 $T_i^* \in (0, 1)$, 使得对 $\forall T_i \in (T_i^*, 1)$, $\frac{1}{T_i} M$ 的特征根仍在单位圆内.

因此, 对于每个给定的 T_i , 存在 $d_1 > 1, \sigma_1 \in (0, 1)$, 使得 $\|\left(\frac{1}{T_i} M\right)^k\| \leq d_1 \sigma_1^k$.

由 $\xi_{k+1} = \frac{1}{T_i} M \xi_k + \frac{1}{T_i} N v_k$ 可知 $\xi_k = \left(\frac{1}{T_i} M\right)^k \xi_0 + \left(\frac{1}{T_i} M\right)^{k-1} N v_0 + \dots + \frac{1}{T_i} N v_{k-1}$. 所以

$$\|\xi_k\| \leq \left\| \left(\frac{1}{T_i} M\right)^k \right\| \|\xi_0\| + \frac{1}{T_i} \|N\| \|v\| \left(\left\| \left(\frac{1}{T_i} M\right)^{k-1} \right\| + \dots + 1 \right)$$

$$\leq d_1 \sigma_1^k \|\xi_0\| + \frac{1}{T_i} \|N\| \|v\| \frac{d_1}{1-\sigma_1}.$$

令 $d_1 = L_1, \ln \sigma_1 = -\lambda_1, r_1 = \frac{1}{T_i} \|N\| \frac{d_1}{1-\sigma_1}$, 则有

$$\|\xi_k\| \leq L_1 e^{-\lambda_1 k} \|\xi_0\| + r_1 \|v\|, \forall k \geq 0.$$

引理 2 假定引理 1 成立, 常数 T_i, L_1, r_1 取自上述引理, 若 W 与 Δ 相比有足够的大, 使得 $W > (2 + r_1 + 2L_1)\Delta$ 成立. 则存在 $\Delta_w > 0$, 且 $\Delta_w - 2\Delta > 0$, 当 $\|\xi_0\| \leq \Delta_w, \|v\| \leq \Delta$ 时, 有

$$\|q_{\mu_k}(x(n_k))\| \leq (W - \Delta)\mu_k, \|\xi_k\| \leq W.$$

证明 因 $W > (2 + r_1 + 2L_1)\Delta$, 则存在 $\epsilon > 0$, 使得 $W = (2 + r_1 + L_1(2 + \epsilon))\Delta$ 成立. 令 $\Delta_w = (2 + \epsilon)\Delta$, 则有 $\Delta_w - 2\Delta > 0$, 且

$$\|\xi_k\| \leq L_1 e^{-\lambda_1 k} \|\xi_0\| + r_1 \|v\| \leq L_1 \Delta_w + r_1 \Delta = (r_1 + L_1(2 + \epsilon))\Delta = W - 2\Delta,$$

从而 $\|q_{\mu_k}(x(n_k))\| \leq (W - \Delta)\mu_k$.

定理 3 若对某个 $h > 0$, 网络控制系统未量化时为稳定的, 选取 $\frac{1}{T_i}M$ 为 Schur 矩阵, $T_o > \max\{\|\Phi\|, 1\}$, W 与 Δ 相比有足够的大, 使得上述引理成立, 并具有相应的 W, Δ, Δ_M . 令 $\ell_o = W - \Delta, \ell_i = \Delta_w - \Delta$, 则 μ_k 有界, 并且量化后的网络控制系统(1) 仍为全局指数稳定的.

证明 证明过程可分 3 种情况:

1) 如果初始条件 $x(n_0)$ 满足 $\|\frac{x(n_0)}{\mu_0}\| < \ell_i - \Delta$, 则有 $\|q_{\mu_0}(x(n_0))\| < \ell_i \mu_0$. 则系统在 $[n_0, n_1)$ 处于闭环状态, 由引理 1 和引理 2 知, 系统将始终处于闭环状态. 由 $x(n_{k+1}) = Mx(n_k) + N\mu_k \left(q\left(\frac{x(n_k)}{\mu_k}\right) - \frac{x(n_k)}{\mu_k} \right), \mu_{k+1} = T_i \mu_k$. 可得 $\|\xi_k\| \leq L_1 e^{-\lambda_1 k} \|\xi_0\| + r_1 \Delta, \mu_k = T_i^k \mu_0$. 从而有 $\|x_k\| \leq L_1 T_i^k e^{-\lambda_1 k} \|x_0\| + T_i^k r_1 \Delta \mu_0$. 因此, 存在 $\bar{K}, \bar{\lambda} > 0$ (不妨假设 $\bar{K} > 1$), 使得 $\|x_k\| \leq \bar{K} e^{-\bar{\lambda} k} \sqrt{\|x_0\|^2 + \mu_0^2}$.

2) 若系统在初始条件处于开环状态. 由 $x(n_{k+1}) = \Phi x(n_k)$, 可得 $\|\xi_k\| \leq \|\frac{\Phi}{T_{off}}\|^k \|\xi_0\|$, 则存在常数 $k^* > 0$, 使得对于任意 μ_0 , 有 $\|\frac{x(n_{k^*})}{\mu_{k^*}}\| < \ell_i - \Delta$. 根据引理 1 和引理 2, 系统在区间 $[k^*, k^* + 1)$ 及以后任一时刻都处于闭环状态. 因此, 当 $k \geq k^*$ 时, 有

$$\|x(n_k)\| \leq \bar{K} e^{-\bar{\lambda}(k-k^*)} \sqrt{\|x(n_{k^*})\|^2 + \mu_{k^*}^2},$$

$$\mu_k = T_i^{k-k^*} \mu_{k^*}.$$

在 $[0, k^*]$ 上, 由 $x(n_{k+1}) = \Phi x(n_k)$ 及 $\mu_k \leq T_{off}^{k^*} \mu_0$, 可得

$$\|x(n_k)\| \leq \bar{K} e^{-\bar{\lambda}(k-k^*)} \sqrt{(\|\Phi\|^{k^*} \|x_0\|)^2 + (T_{off}^{k^*} \mu_0)^2},$$

且对于任意的 $k \geq 0$, 有 $\mu_k \leq \mu_{k^*}$.

3) 若初始阶段量化器为非饱和状态, 但在有限时段内转为饱和状态, 可将其转为第 2 种情况, 然后再转为第 1 种情况考虑. 因此, 闭环系统仍能达到指数稳定.

综上, 对任意的初始条件 $x(n_0)$, 基于模型的网络控制系统为指数稳定的, 证毕.

3 仿真例子

考虑如下不确定系统 $x(n+1) = \begin{bmatrix} a_{11} & 1 \\ a_{21} & 1+a_{22} \end{bmatrix} x(n) + \begin{bmatrix} 0.1+b_1 \\ 0.2+b_2 \end{bmatrix} u(n)$, 其中 $a_{11} \in [-0.01, 0.01]$, $a_{21} \in [-0.3, 0.3], a_{22} \in [-0.2, 0.2], b_1 \in [-0.02, 0.02], b_2 \in [-0.01, 0.01]$.

模型系统为 $\hat{x}(n+1) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \hat{x}(n) + \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \end{pmatrix} u(n)$, 反馈增益 $K = (-3 \quad -5)$.

为了便于进行仿真,选取 $a_{11} = 0.01, a_{21} = 0.2, a_{22} = 0.2, b_1 = 0.01, b_2 = -0.01$.

定义量化函数为

$$q(x_i) = \begin{cases} M, & x_i \geq M + \frac{1}{2}\Delta, \\ -M, & x_i < -M - \frac{1}{2}\Delta, i = 1, 2, \\ \Delta \lfloor \frac{x}{\Delta} + \frac{1}{2} \rfloor, & x_i \in [-M - \frac{1}{2}\Delta, M + \frac{1}{2}\Delta). \end{cases}$$

动态量化器可写成 $q_\mu(x) = \mu q\left(\frac{x}{\mu}\right)$. 其中 $\lfloor x \rfloor$ 表示不超过 x 的最大整数. 选取 $M = 60, \Delta = \frac{1}{2}, \mu_0 = 1, T_i = 0.8, h = 1$ 和初始条件 $x(n_0) = [2, -4]^T$, 则满足定理中的所有条件. 在上述量化控制规则下, 可得仿真如图 1、图 2 所示. 图 1 为被控系统状态响应曲线, 可以看出系统状态最终是指数稳定的.

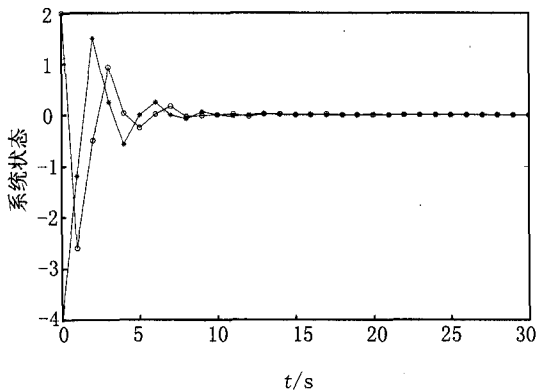


图1 受控系统的动力学行为

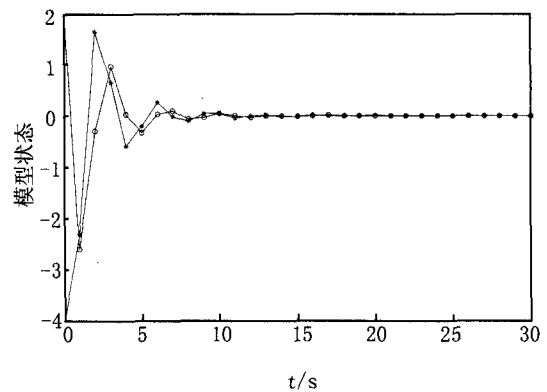


图2 模型系统的动力学行为

4 小 结

本文研究了一类基于模型的不确定离散系统量化控制问题. 通过合理的设计量化方法, 保证了闭环系统在所提量化方式下是渐近稳定的. 最后, 通过数值仿真证明了本文设计方法的有效性. 另外, 本文提出的量化方法在信息受限的情况下也是适用的.

参 考 文 献

- [1] Baillifol J, and Antsaklis P J. Control and Communication Challenges in Networked Real-Time Systems[J]. Proc IEEE, 2007, 95(1): 9-28.
- [2] 游科友, 谢立华. 网络控制系统的最新研究综述[J]. 自动化学报, 2013, 39(2): 101-118.
- [3] Guan Z H, Jiang T, Zhang X H. Performance limitation of networked systems with network-induced delay and packet-dropout constraints[J]. Asian J Control, 2015, 17(6): 2452-2459.
- [4] 毛北行, 张玉霞. 模糊不确定时滞网络控制系统的保性能 H_∞ 控制[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2012, 40(3): 14-17.
- [5] 张春风, 谢冬梅. 具有数据包丢失的网络控制系统镇定性研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2012, 40(2): 149-154.
- [6] Tan C, Li L, Zhang H H. Stabilization of networked control systems with both network-induced delay and packet dropout[J]. Automatica, 2015, 59: 194-199.
- [7] Farnam A, Esfanjani R M. Improved stabilization method for networked control systems with variable transmission delays and packet dropout[J]. ISA Transactions, 2014, 53(6): 1746-1753.
- [8] Montestruque L A, Antsaklis P J. On the Model-Based Control of Networked systems[J]. Automatica, 2003, 39(10): 1837-1843.
- [9] Montestruque L A, Antsaklis P J. Stability of Model-Based of Networked Control Systems with Time-Varying Transmission Times[J]. IEEE Trans Automat Control, 2004, 49(9): 1562-1572.
- [10] Wang G X, Wang Z M, Naidu D S. On Model-Based Networked Control of Singularly Perturbed Systems[C]. 北京: 北航大学出版社, 2008.
- [11] Wang Z M, Liu W, Dai H H, et al. Robust Stabilization of Model-Based Uncertain Singularly Perturbed Systems with Networked Time-

- Delay[C]. Proceedings of the 48th IEEE Conference on Decision and Control, Shanghai, 2009.
- [12] Liberzon D. Hybrid feedback stabilization of systems with quantized signals[J]. *Automatica*, 2003, 39: 1543-1554.
- [13] Liberzon D. On stabilization of linear systems with limited information[J]. *IEEE Trans. Automat. Control*, 2003, 48: 304-307.
- [14] Liu Y Y, Che W W, Chu Y K. Stability and stabilization of networked control systems under limited communication capacity and variable sampling[J]. *Asian J Control*, 2014, 16(4): 1202-1212.
- [15] Liberzon D, Nesic D. Input-to-state stabilization of linear systems with quantized state measurements[J]. *IEEE Trans. Automat. Control*, 2007, 52(5): 767-781.
- [16] Liu W, Wang Z M, Ni M K. Controlled synchronization for chaotic systems via limited information with data packet dropout [J]. *Automatica*, 2013, 49(8): 2576-2579.
- [17] Liu W, Wang Z M, Ni M K. Quantized feedback stabilization for a class of linear systems with nonlinear disturbances[J]. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 2013, 8(5): 248-56.
- [18] Zhan X S, Guan Z H, Zhang X H, et al. Best tracking performance of networked control systems based on communication constraints [J]. *Asian Journal of Control*, 2014, 16(4): 1155-1163.

Quantized Feedback Stabilization of Uncertain Discrete System

XUE Chunshan, TONG Yanchun, WANG Yanyan, LIU Wei

(School of Mathematics and Statistics, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China)

Abstract: This paper studies the quantized control problem of uncertain discrete systems. By the model-based method, the uncertain controlled system and its model are connected by a communication network. A sufficient condition for the globally exponential stabilization under some certain conditions is obtained by designing effective quantization method and control laws. Finally, a simulation example is presented to illustrate the results.

Keywords: networked control system; stability; discrete system; uncertain system; quantization