

一类不确定离散时间系统的最优鲁棒控制

俞向罡 顾兴源

(东北工学院自动控制系, 沈阳 110006)

摘 要

本文针对一类含有不确定因素的离散单输入系统, 采用李雅普诺夫第二种方法设计了一种鲁棒控制器。这个控制器是系统状态的线性函数, 并且被证明当矩阵 Q 给定时, 它是最优的。文末给出了仿真例子。

关键词: 鲁棒控制, 离散时间系统, 李雅普诺夫函数, 状态反馈。

一、引言与问题的描述

目前, 人们对于连续不确定动态系统控制问题的研究^[1-3]取得了许多成果; 但在离散时间不确定系统的控制方面所取得的进展相对较慢。所谓离散时间不确定系统就是指用差分方程描述的一类系统, 其中的部分或全部参数值无法确切得到。目前一般采用两种方法来描述这种不确定性。一种是用概率统计的方法; 另一种是给出不确定量的变化范围。本文采用后一种方法。

最近, Corless 和 Manela^[5]、Magana 和 Zak^[6] 对离散时间不确定系统进行研究, 考虑了系统矩阵的不确定性和外部干扰造成的不确定性。而 Yang 和 Tomizuka^[7] 不仅考虑了上述的不确定性, 也考虑了输入通道中的不确定性, 提出一个鲁棒控制律, 这个控制律是非线性的和不连续的, 因此有时会导致在系统中产生振荡。

本文针对系统矩阵和输入通道均含有不确定量, 并且存在外部干扰的一类离散时间不确定单输入系统, 提出了一种基于李雅普诺夫第二种方法的鲁棒的状态反馈控制器。假设这类系统的标称部分 (nominal part) 是线性时不变和可稳定的, 不确定量满足匹配条件, 所推导的控制律是状态的线性函数并且是最优的, 它使得在不确定量的变化区域内, 李雅普诺夫函数变化差的上限达到最小。当矩阵 Q 一旦给定, 它能忍受最大的不确定量的变化范围。这个控制律中不含有不确定量的信息, 这意味着不必把有关不确定量的信息引入到控制律中来。

考虑一类线性离散动态系统

$$\mathbf{x}(k+1) = (A + \Delta A(r_k))\mathbf{x}(k) + (B + \Delta B(s_k))\mathbf{u}(k) + E\boldsymbol{\omega}(k), \quad (1.1)$$

这里 $\mathbf{x}(k) \in R^n$, $\mathbf{u}(k) \in R^l$, $\boldsymbol{\omega}(k) \in R^m$ 分别为系统的状态、输入和外部干扰。 A , B 和 E 是具有适当维数的矩阵。 $\Delta A(\cdot): R^p \rightarrow R^{n \times n}$ 和 $\Delta B(\cdot): R^q \rightarrow R^{n \times l}$ 是系统中的不确定量, 其中的元素是连续函数。进一步作如下假设:

假设 1. 标称系统 (nominal part)

$$\mathbf{x}(k+1) = A\mathbf{x}(k) + B\mathbf{u}(k) \quad (1.2)$$

是线性、时不变和可稳定的。

假设 2. 不确定量可以随时间变化, $r(\cdot): N \rightarrow \theta \subset R^p$, $S(\cdot): N \rightarrow \Omega \subset R^q$ 以及

$$\omega(\cdot): N \rightarrow \psi \subset R^m,$$

这里 θ , Ω 和 ψ 是具有适当维数的预先规定的有界集, N 是正整数的集合。

假设 3. 存在一个矢量函数 $\tilde{a}(\cdot): R^p \rightarrow R^n$, 标量函数 $\tilde{b}(\cdot): R^q \rightarrow R^1$, 和一个常数矢量 U 使得

$$\Delta A(r_k) = B\tilde{a}^T(r_k), \text{ 对于任意 } r_k \in \theta, \quad (1.3)$$

$$\Delta B(S_k) = B\tilde{b}(S_k), \text{ 对于任意 } S_k \in \Omega, \quad (1.4)$$

$$E = BU^T. \quad (1.5)$$

即 $\Delta A(\cdot)$, $\Delta B(\cdot)$ 和 E 满足匹配条件。

假设 4 \tilde{a}, \tilde{b} 和 $d(k)$ 是有界的。

$$|\tilde{b}(S_k)| \leq \tilde{b}^*, \quad 0 < \tilde{b}^* < 1, \text{ 对于任意 } S_k \in \Omega, \quad (1.6)$$

$$\|\tilde{a}(r_k)\| \leq \tilde{a}^*, \text{ 对于任意 } r_k \in \theta, \quad (1.7)$$

$$|d(k)| \leq d^*. \quad (1.8)$$

这里,

$$d(k) = v^T \omega(k), \quad (1.9)$$

$\|\cdot\|$ 表示 Euclidean 模。

二、最优鲁棒控制器的设计和特点

不失一般性地假定标称系统 (1.2) 是渐近稳定的。那么对于任何给定的对称正定矩阵 Q , 总存在一个对称的正定矩阵 P , 满足

$$A^T P A - P + Q = 0, \quad (2.1)$$

对于标称系统, 取李雅普诺夫函数为

$$V(k) = \mathbf{x}^T(k) P \mathbf{x}(k). \quad (2.2)$$

定理 1. 考虑对于由 (1.1) 式所描述的离散时间动态系统, 如果假设 1—4 被满足, 那么控制律

$$\mathbf{u}^*(k) = - \frac{B^T P A \mathbf{x}(k)}{B^T P B} \quad (2.3)$$

是李雅普诺夫意义上最优的, 并且由 (2.2) 式定义的李雅普诺夫函数的变化差满足不等式

$$V(k+1) - V(k) \leq -a_1 \|\mathbf{x}(k)\|^2 + a_2 \|\mathbf{x}(k)\| + a_3, \quad (2.4)$$

其中

$$a_1 = \lambda_{\min}(Q) - \frac{\alpha \tilde{a}^{*2}}{1 - \tilde{b}^{*2}}, \quad (2.5)$$

$$a_2 = 2\alpha \frac{\tilde{a}^* d^*}{1 - \tilde{b}^{*2}}, \quad (2.6)$$

$$a_3 = \frac{\alpha \cdot d^{*2}}{1 - \tilde{b}^{*2}} \quad (2.7)$$

这里 $\alpha = B^T P B$. (2.8)

证明. 将 (1.3), (1.4) 和 (1.5) 式代入 (1.1) 式, 得到

$$\mathbf{x}(k+1) = A\mathbf{x}(k) + B[u(k) + e(k)], \quad (2.9)$$

其中 $e(k) = \tilde{a}^T \mathbf{x}(k) + \tilde{b}u(k) + d(k)$. (2.10)

当存在不确定性时, 可以把 $V(k+1) - V(k)$ 表示为

$$\begin{aligned} V(k+1) - V(k) &= \mathbf{x}^T(k+1)P\mathbf{x}(k+1) - \mathbf{x}^T(k)P\mathbf{x}(k) \\ &= \{A\mathbf{x}(k) + B[u(k) + e(k)]\}^T P \{A\mathbf{x}(k) + B[u(k) + e(k)]\} \\ &\quad - \mathbf{x}^T(k)P\mathbf{x}(k) \\ &= -\mathbf{x}^T(k)Q\mathbf{x}(k) + [u(k) + e(k)]\{\alpha[u(k) + e(k)] \\ &\quad + 2B^T P A\mathbf{x}(k)\}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

令 $\beta(k) = B^T P A\mathbf{x}(k)$, (2.12)

$$h(k) = u(k) + e(k), \quad (2.13)$$

则 (2.11) 式变为

$$\begin{aligned} V(k+1) - V(k) &= -\mathbf{x}^T(k)Q\mathbf{x}(k) + h(k)[\alpha h(k) + 2\beta(k)] \\ &= -\mathbf{x}^T(k)Q\mathbf{x}(k) + y(k), \end{aligned} \quad (2.14)$$

其中 $y(k) = h(k)[\alpha h(k) + 2\beta(k)]$. (2.15)

分两种情况讨论.

1) $\beta(k) \geq 0$.

由 (2.15) 式定义的 $y-h$ 曲线是一族抛物线, 如图 1 所示. 众所周知, 对于任意的 f 、 h 和 g (其中 $f < g$), 如果 $f \leq h \leq g$, 那么

$$y(h) \leq \max\{y(f), y(g)\}. \quad (2.16)$$

由 (2.10), (2.13) 式和假设 4, 有

$$h_1(k) \leq h(k) \leq h_2(k), \text{ 当 } u(k) \leq 0. \quad (2.17)$$

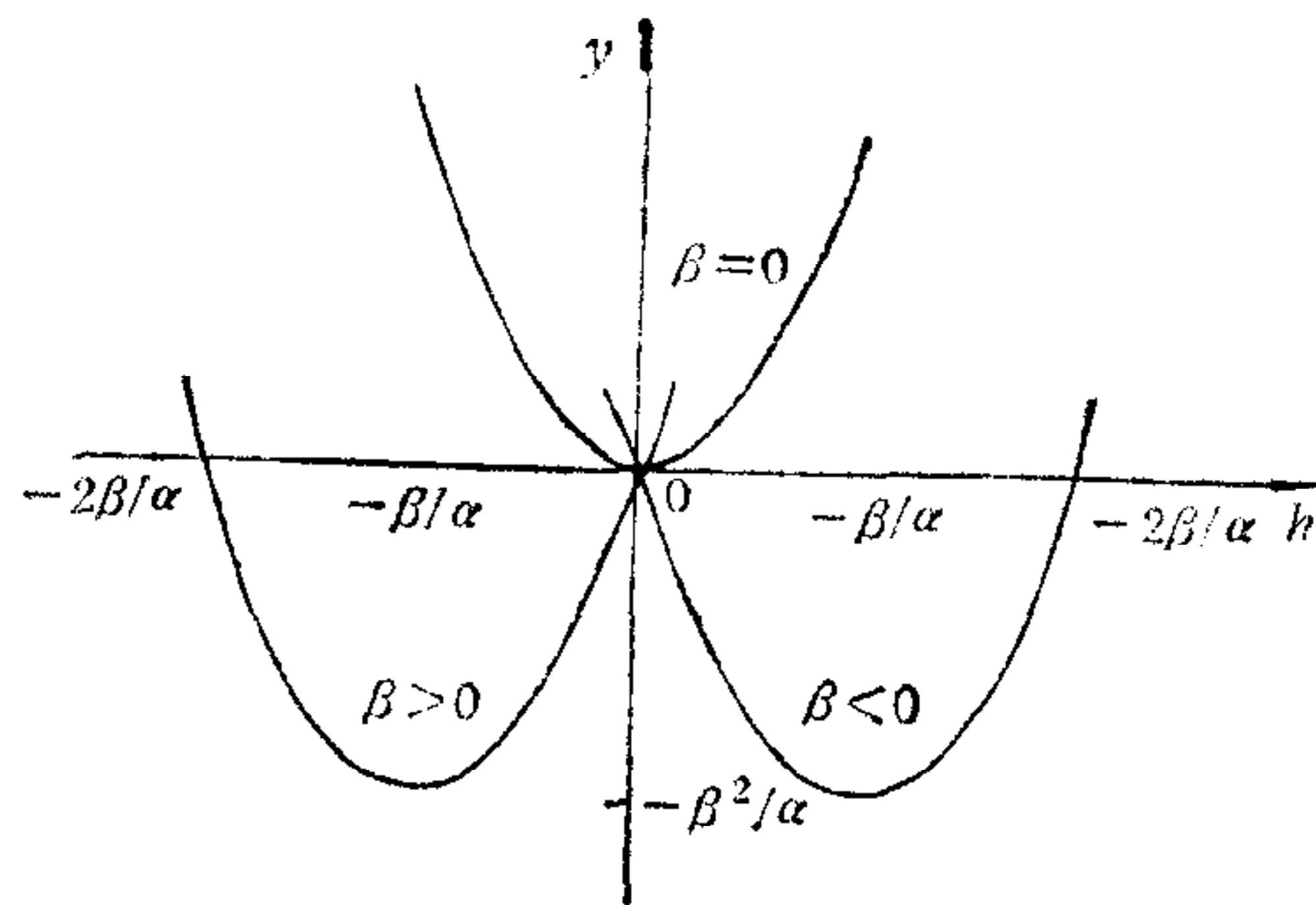


图 1 $y-h$ 曲线

$$h_3(k) \leq h(k) \leq h_4(k), \text{ 当 } u(k) > 0. \quad (2.18)$$

其中

$$\begin{aligned} h_1(k) &= h_1(u(k)) \\ &= u(k) - \tilde{a}^* \|x(k)\| + \tilde{b}^* u(k) - d^* \\ &= (1 + \tilde{b}^*)u(k) - (\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*), \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} h_2(k) &= h_2(u(k)) = u(k) + \tilde{a}^* \|x(k)\| - \tilde{b}^* u(k) + d^* \\ &= (1 - \tilde{b}^*)u(k) + \tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*, \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} h_3(k) &= h_3(u(k)) = u(k) - \tilde{a}^* \|x(k)\| - \tilde{b}^* u(k) - d^* \\ &= (1 - \tilde{b}^*)u(k) - (\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*), \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} h_4(k) &= h_4(u(k)) = u(k) + \tilde{a}^* \|x(k)\| + \tilde{b}^* u(k) + d^* \\ &= (1 + \tilde{b}^*)u(k) + \tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*. \end{aligned} \quad (2.22)$$

因此对于任意的控制输入 $u(k)$, 都有

$$y(k) = y[h(u(k))] \leq \begin{cases} \max\{y[h_1(u(k))], y[h_2(u(k))]\}, & \text{当 } u(k) \leq 0. \\ \max\{y[h_3(u(k))], y[h_4(u(k))]\}, & \text{当 } u(k) > 0. \end{cases} \quad (2.23)$$

令

$$y_{\max}(u(k)) = \begin{cases} \max\{y[h_1(u(k))], y[h_2(u(k))]\}, & \text{当 } u(k) \leq 0, \\ \max\{y[h_3(u(k))], y[h_4(u(k))]\}, & \text{当 } u(k) > 0. \end{cases} \quad (2.24)$$

所谓最优鲁棒控制就是寻找一个 $u^*(k)$ 使得 $y_{\max}(u(k))$ 达到最小.

将 (2.19), (2.20) 式分别代入 (2.15) 式得

$$\begin{aligned} y[h_1(u(k))] - y[h_2(u(k))] &= h_1(k)[\alpha h_1(k) + 2\beta] - h_2(k)[\alpha h_2(k) + 2\beta] \\ &= [h_1(k) - h_2(k)][\alpha(h_1(k) + h_2(k)) + 2\beta] \\ &= 4d[\tilde{b}^* u(k) - (\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*)] \left[u(k) + \frac{\beta}{\alpha} \right], \end{aligned} \quad (2.25)$$

将 (2.21), (2.22) 式分别代入 (2.15) 式得

$$\begin{aligned} y[h_4(u(k))] - y[h_3(u(k))] &= 4\alpha[\tilde{b}^* u(k) + \tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*] \left[u(k) + \frac{\beta}{\alpha} \right]. \end{aligned} \quad (2.26)$$

所以, 当

$$u(k) < -\frac{\beta}{\alpha}, \quad y[h_1(u(k))] > y[h_2(u(k))], \quad (2.27)$$

$$\text{当 } u(k) = -\frac{\beta}{\alpha}, \quad y[h_1(u(k))] = y[h_2(u(k))], \quad (2.28)$$

$$\text{当 } -\frac{\beta}{\alpha} < u(k) \leq 0, \quad y[h_2(u(k))] > y[h_1(u(k))], \quad (2.29)$$

$$\text{当 } u(k) > 0, \quad y[h_4(u(k))] > y[h_3(u(k))]. \quad (2.30)$$

因此, 根据 (2.24) $y_{\max}(u(k))$ 的定义得

$$y_{\max}(u(k)) = \begin{cases} y[h_1(u(k))], & \text{当 } u(k) < -\frac{\beta}{\alpha}, \\ y\left[h_1\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)\right] = y\left[h_2\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)\right], & \text{当 } u(k) = -\frac{\beta}{\alpha}, \\ y[h_2(u(k))], & \text{当 } -\frac{\beta}{\alpha} < u(k) \leq 0, \\ y[h_4(u(k))], & \text{当 } u(k) > 0, \end{cases} \quad (2.31)$$

假设
$$u^*(k) < -\frac{\beta}{\alpha}, \quad (2.32)$$

由 (2.31) 式得

$$y_{\max}(u^*(k)) = y[h_1(u^*(k))], \quad (2.33)$$

由 (2.32), (2.19) 式得

$$h_1[u^*(k)] < h_1\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right) < -\frac{\beta}{\alpha}, \quad (2.34)$$

因为当 $h < -\frac{\beta}{\alpha}$ 时, 由 (2.15) 式定义的 $y(h)$ 为单调减, 所以

$$y_{\max}(u^*(k)) = y[h_1(u^*(k))] > y\left[h_1\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)\right] = y_{\max}\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right). \quad (2.35)$$

上式与 $u^*(k)$ 的定义矛盾, 因此 $u^*(k)$ 不能小于 $-\frac{\beta}{\alpha}$.

应用同样的方法, 能够证明 $u^*(k)$ 也不满足

$$-\frac{\beta}{\alpha} < u^*(k) \leq 0. \quad (2.36)$$

假设
$$u^*(k) > 0, \quad (2.37)$$

由 (2.31) 式得

$$y_{\max}(u^*(k)) = y[h_4(u^*(k))], \quad (2.38)$$

由 (2.37), (2.20), (2.22) 式得

$$-\frac{\beta}{\alpha} < h_2\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right) < h_4(u^*(k)), \quad (2.39)$$

因为当 $h > -\frac{\beta}{\alpha}$ 时, $y(h)$ 为单调增, 所以

$$y_{\max}(u^*(k)) = y[h_4(u^*(k))] > y\left[h_2\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right)\right] = y_{\max}\left(-\frac{\beta}{\alpha}\right), \quad (2.40)$$

上式也与 $u^*(k)$ 的定义矛盾.

因此当 $\beta(k) \geq 0$ 时, 最优鲁棒控制为

$$u^*(k) = -\frac{\beta(k)}{\alpha}, \quad (2.41)$$

将 (2.41) 式代入 (2.31) 式得

$$y_{\max}(u^*(k)) = -\frac{\beta^2}{\alpha} + \alpha\left(\tilde{a}^*\|x(k)\| + d^* + \tilde{b}^*\frac{\beta}{\alpha}\right)^2, \quad (2.42)$$

由 (2.23), (2.24) 和 (2.14) 式得

$$V(k+1) - V(k) \leq -x^T(k)Qx(k) - \frac{\beta^2}{\alpha} + \alpha\left(\tilde{a}^*\|x(k)\| + d^* + \frac{b^*\beta(k)}{\alpha}\right)^2. \quad (2.43)$$

2) $\beta(k) < 0$. 采用与上述相同的方法, 得出如下结果:

$$u^*(k) = -\frac{\beta(k)}{\alpha}, \quad (2.44)$$

$$\begin{aligned} V(k+1) - V(k) &\leq -x^T(k)Qx(k) - \frac{\beta^2}{\alpha} \\ &\quad + \alpha \left(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^* - \frac{\tilde{b}^* \beta}{\alpha} \right)^2. \end{aligned} \quad (2.45)$$

综合在两种不同情况下所得到的结果如下:

$$u^*(k) = -\frac{\beta(k)}{\alpha}, \quad (2.46)$$

$$\begin{aligned} V(k+1) - V(k) &= -x^T(k)Qx(k) - \frac{|\beta|^2}{\alpha} \\ &\quad + \alpha \left(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^* + \tilde{b}^* \frac{|\beta|}{\alpha} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.47)$$

当 $|\beta| \geq \alpha \cdot \frac{\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*}{1 - \tilde{b}^*}$ 时,

$$-\frac{|\beta|^2}{\alpha} + \alpha \left(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^* + \tilde{b}^* \frac{|\beta|}{\alpha} \right)^2 \leq 0, \quad (2.48)$$

由 (2.47) 式得

$$V(k+1) - V(k) \leq -x^T(k)Qx(k), \quad (2.49)$$

当 $|\beta| < \alpha \cdot \frac{\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*}{1 - \tilde{b}^*}$ 时,

$$\begin{aligned} &-\frac{|\beta|^2}{\alpha} + \alpha \left(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^* + \tilde{b}^* \frac{|\beta|}{\alpha} \right)^2 \\ &= \alpha \cdot \frac{(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*)^2}{(1 - \tilde{b}^*)(1 + \tilde{b}^*)} - \alpha(1 - \tilde{b}^{*2}) \left[\frac{|\beta|}{\alpha} - \frac{\tilde{b}^*}{1 + \tilde{b}^*} \cdot \frac{\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*}{1 - \tilde{b}^*} \right]^2 \\ &\leq \alpha \cdot \frac{(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*)^2}{1 - \tilde{b}^{*2}}, \end{aligned} \quad (2.50)$$

因此,由 (2.47), (2.50) 式得

$$\begin{aligned} V(k+1) - V(k) &\leq -x^T(k)Qx(k) + \alpha \cdot \frac{(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*)^2}{1 - \tilde{b}^{*2}} \\ &\leq -\lambda_{\max}(Q) \|x(k)\|^2 + \alpha \cdot \frac{(\tilde{a}^* \|x(k)\| + d^*)^2}{1 - \tilde{b}^{*2}} \\ &= -a_1 \|x(k)\|^2 + a_2 \|x(k)\| + a_3. \end{aligned} \quad (2.51)$$

这里 a_1 , a_2 和 a_3 分别由 (2.5), (2.6) 和 (2.7) 式定义.

推论 1. 如果假设 1—4 成立, 并且下面不等式成立:

$$\lambda_{\min}(Q) > B^T P B \frac{\tilde{a}^{*2}}{1 - \tilde{b}^{*2}}, \quad (2.52)$$

那么系统 (1.1) 在定理 1 所给出的控制律作用下, 其状态有界.

证明过程与文[7]中的方法相同。

推论 2. 如果不存在外部干扰,并且不等式(2.52)被满足,那么在定理 1 所给出的控制律作用下,不确定系统(1.1)是渐近稳定的。

证明过程与文[7]中的方法相同。

从(2.4)–(2.7)式,可以看到,当条件(2.52)被满足时,系统的状态是有界的。但当外部干扰存在时,系统的状态并不能收敛到原点,而是随着外部干扰的大小,不同程度地向原点收敛。而当外部干扰为零时,系统的状态收敛到原点。关于不确定系统的稳定性分析请见文[7]。

三、仿 真 例 子

对下面的系统进行仿真研究:

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+2) \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0.24 & 0.2 \end{bmatrix} + \Delta A \right) \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} + \Delta B \right) u(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} d(k), \quad (3.1)$$

其中
$$\Delta A = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tilde{a}^T, \quad \tilde{a}^T = [\tilde{a}_1 \quad \tilde{a}_2], \quad (3.2)$$

$$\Delta B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tilde{b}, \quad (3.3)$$

取
$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

解矩阵方程(2.1)得

$$P = \begin{bmatrix} 1.131 & 0.144 \\ 0.144 & 2.28 \end{bmatrix}, \quad (3.5)$$

$$\alpha = B^T P B = 2.28, \quad (3.6)$$

$$u(k) = -\frac{B^T P A x(k)}{B^T P B} = -(0.244x_1(k) + 0.236x_2(k)). \quad (3.7)$$

为了保证系统的稳定性,取 $\tilde{a}^* = 0.606$, $\tilde{b}^* = 0.4$, 使得

$$\alpha \cdot \frac{\tilde{a}^{*2}}{1 - \tilde{b}^{*2}} < 1, \quad (3.8)$$

取 $d^* = 0.15$,

设定
$$\Delta A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.429 & 0.429 \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

$$\Delta B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.4 \end{bmatrix}, \quad (3.10)$$

初始条件为 $(x_1(0), x_2(0)) = (1.5, 1.5)$, 外部干扰为零,状态响应曲线如图 2 所示。这时(3.9)式的 ΔA 使得 $A + \Delta A$ 不稳定,其中的一个特征值为 1.19。从图 2 中可以看到本文给出的控制律使这个系统达到稳定。

设
$$\Delta A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.429 \cos(0.15k\pi) & 0.429 \cos(0.3k\pi) \end{bmatrix}, \quad (3.11)$$

$$\Delta B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.4 \cos(0.2k\pi) \end{bmatrix}, \quad (3.12)$$

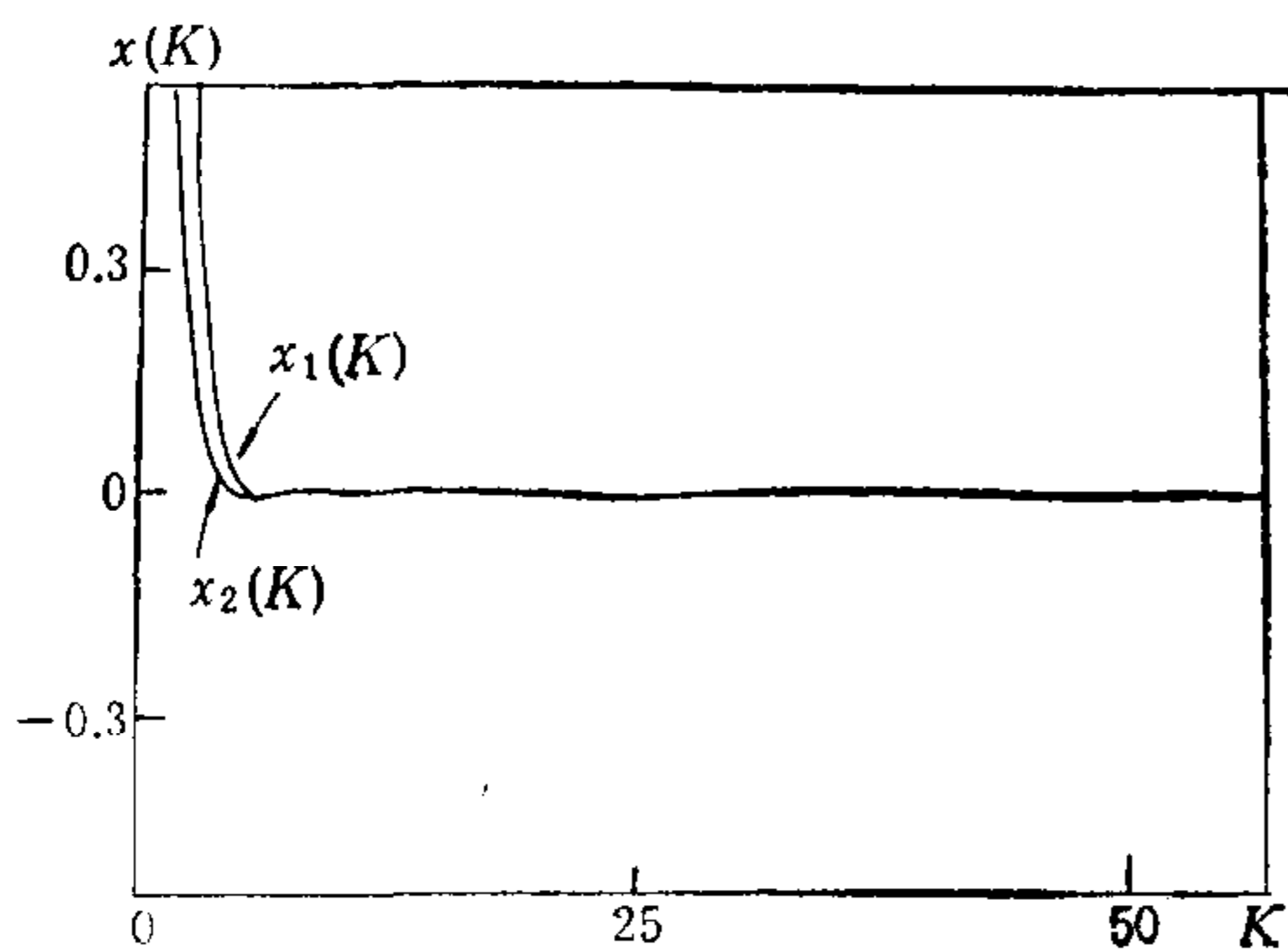


图 2 当无外部干扰,系统参数的不确定性为恒定时的状态响应

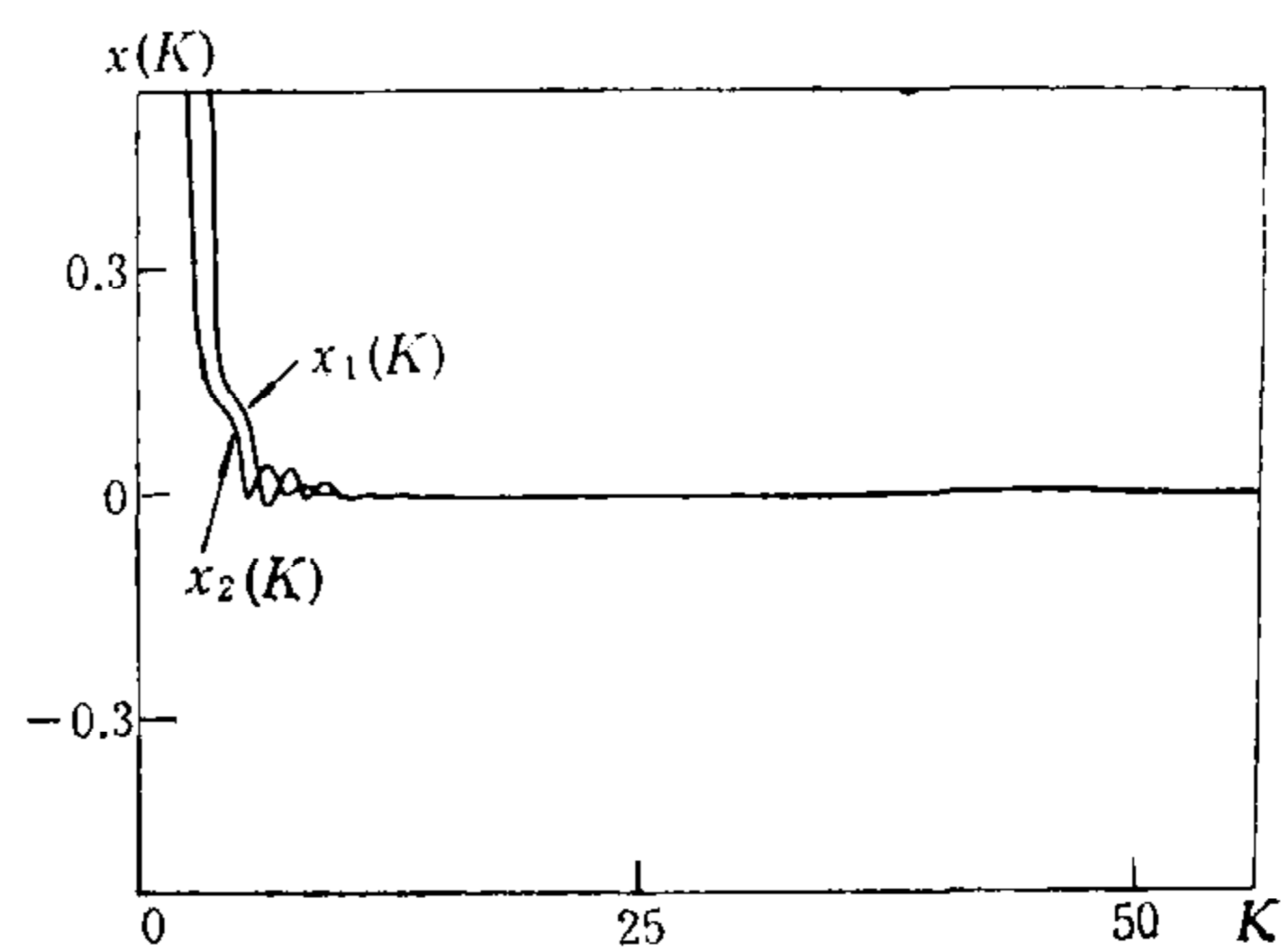


图 3 当无外部干扰,系统参数的不确定性为时变时的状态响应

外部干扰为零,并且初值状态为 $(1.5, 1.5)$ 时,状态曲线如图 3 所示. 这时的系统为渐近稳定的.

加入外部干扰

$$d(k) = 0.15 \cos(0.1k\pi) + 0.15 \sin(0.15k\pi), \quad (3.13)$$

状态曲线如图 4 所示. 此时系统的状态是有界的. 由于存在外部干扰,系统的状态不能收敛到零点.

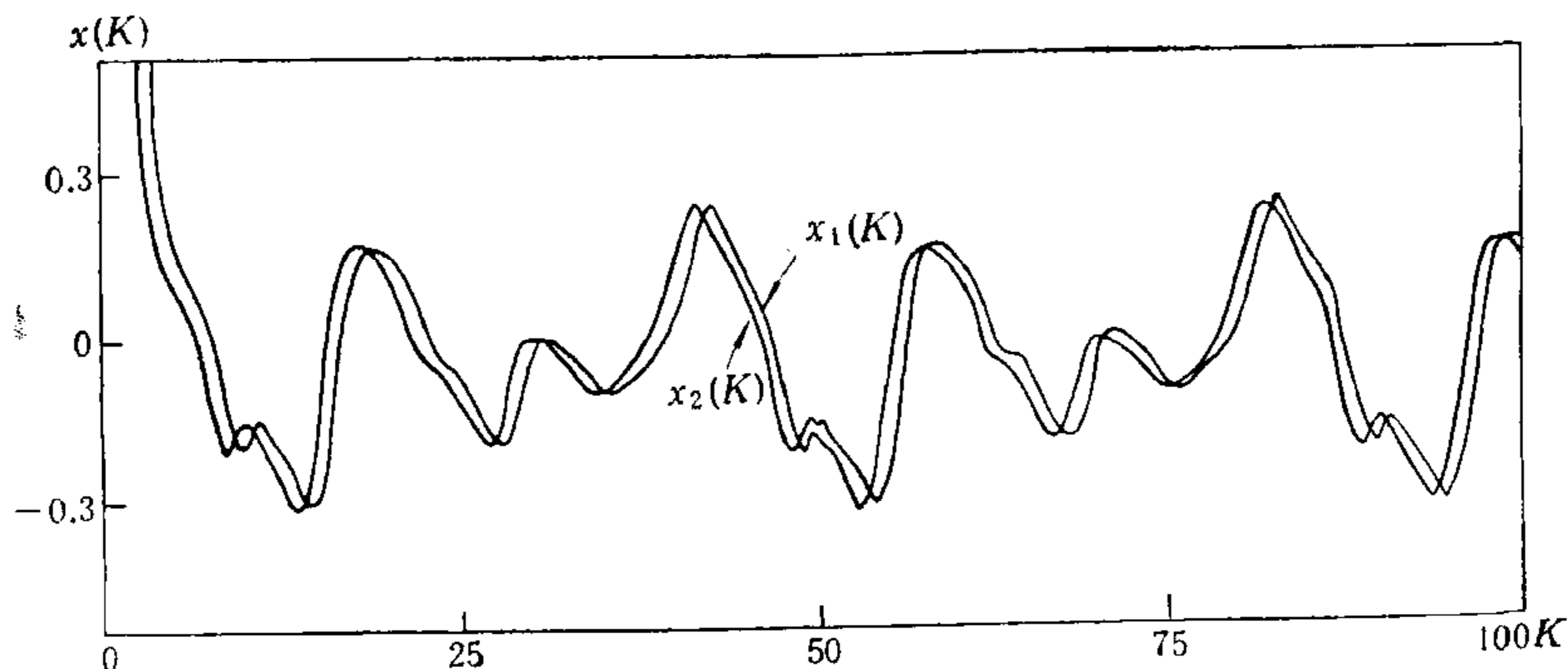


图 4 当存在外部干扰,系统参数的不确定性为时变时的状态响应

结 论

本文研究了在假设 1—4 成立的前题下,离散时间最优鲁棒控制问题,给出了最优控制律. 这个控制律是系统状态的线性函数,它使得在不确定量的变化范围内,李雅普诺夫函数变化差的上限达到最小. 最后的仿真例子验证了本文的结论.

参 考 文 献

- [1] Barmish, B. R., Corless, M. and Leitmann, G., A new Class of Stabilizing Controllers for Uncertain Dynamical Systems, *SIAM J Control Optimiz.*, 21, 1983, 246—255.
- [2] Corless, M. and Leitmann, G., Continuous State Feedback Goaranteeing Uniform Ultimate Boundness for Uncertain Dynamic Systems, *IEEE Trans. Automat. Contrl.*, **AC-26**(1981), 1139—1144.
- [3] Gutman, S., Uncertain Dynamic System-Lyapunov Min-max Approach, *IEEE Trans. Automat. Contrl.*, **AC-24**(1979), 437—443.
- [4] Ogata, K., *Discrete-Time Control Systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1987.

- [5] Corless, M. and Manela, J., Control of Uncertain Discrete Time System, Amer. Contrl. Conf., **1**(1986), 515—520.
- [6] Magana, M. E. and Zak, S. H., Robust State Feedback of Discrete-time Uncertain Dynamic System, *IEEE Trans. Automat. Contrl.*, **AC-33**(1988), 887—891.
- [7] Wei Chi Yang and Tomizuka, M. Discrete Time Robust Control Via State Feedback for Single Input Systems, *IEEE Trans. Automat. Contrl.*, **AC-35**(1990), 590—598.

OPTIMAL ROBUST CONTROL FOR A CLASS OF UNCERTAIN DISCRETE-TIME SYSTEMS

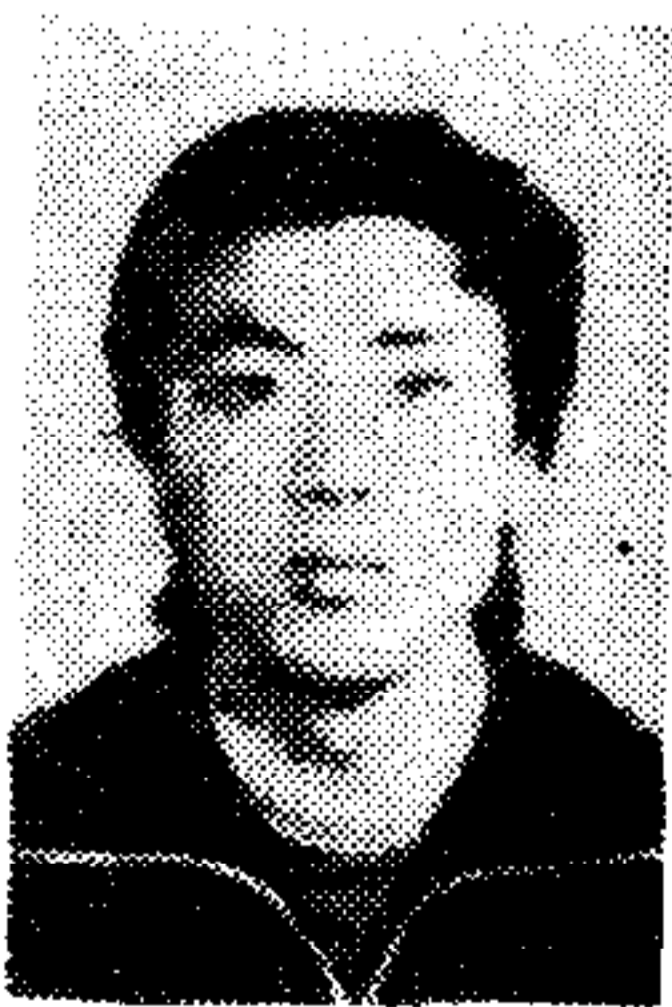
YU XIANGGANG GU XINGYUAN

(Dept. of Automatic Control Northeast University of Technology, Shenyang 110006)

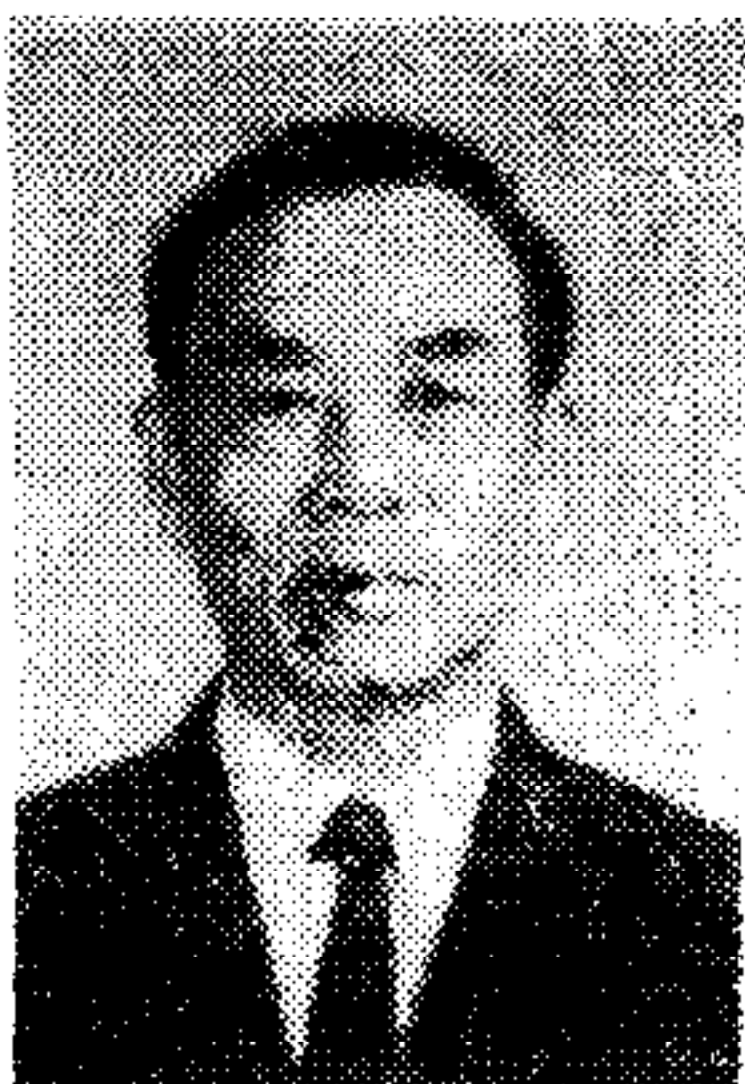
ABSTRACT

In this paper, a linear robust state feedback controller is proposed for discrete-time single input systems containing uncertain elements. The controller is constructed via the second method of Lyapunov subject to four assumptions. It is proved to be optimal and its output is continuous. It guarantees that the state is bounded if matrix A is properly chosen. At last, the simulation examples are demonstrated.

Key words : Robust control; discrete-time system; Lyapunov function; state feedback.



俞向罡 1983年毕业于上海交通大学自动控制系,获工学学士学位;1987年于东北工学院自动控制系获硕士学位;同年考入东北工学院自动控制系,攻读博士学位。主要研究方向为鲁棒控制、自适应控制、计算机控制系统。



顾兴源 1951年清华大学电机工程系毕业,同年开始在东北工学院任教,现为东北工学院工业自动化专业教授,博士研究生导师。主要研究方向:计算机控制系统,自适应控制,预测控制,鲁棒控制器设计。