

具有变系数和变时滞的 BAM 神经网络的全局指数稳定性的新判据

关 朋¹, 黄元清²

(1. 电子科技大学数学科学学院, 成都 610054 2 四川理工学院计算机学院, 四川 自贡 643000)

摘 要: 研究了一类具有变系数和变时滞的联想记忆神经网络的全局指数稳定性。通过选择适当的 Lyapunov - krasovskii 泛函, 利用不等式技巧给出了联想记忆神经网络的全局指数稳定性的新判据。

关键词: BAM 神经网络; Lyapunov - krasovskii 泛函; 全局指数稳定; 线性矩阵不等式

中图分类号: O231

文献标识码: A

引 言

人们对神经网络的研究始于 20 世纪 40 年代, 至今已有半个多世纪的历史, 期间已取得了丰富的成果。1987 年, Kosko 将单层单向联想记忆网络推广到一种双向网络的结构, 及双向联想记忆神经网络简记为 BAM 神经网络。由于联想记忆神经网络在模式识别、人工智能、联想记忆和自动控制方面的广泛应用从而引起许多专家和学者的广泛关注, 进而得到了大量的研究成果, 其中主要是关于稳定性的研究, 见文献 [1- 8]。

在神经网络模型中引入时滞会导致神经网络出现振荡或不稳定。文献 [9] 研究了常时滞的 BAM 神经网络的稳定性, 利用 Young 不等式和 Holder 不等式给出了如下双向联想记忆的神经网络模型

$$\begin{cases} u'_i(t) = -c_i(u_i(t)) + \sum_{j=1}^p a_{ij} f_j(v_j(t - \tau_{ij})) + I_i \\ i = 1, 2, \dots, n \\ v'_j(t) = -d_j(v_j(t)) + \sum_{i=1}^n b_{ji} g_i(u_i(t - \sigma_{ji})) + J_j \\ j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (1)$$

的全局指数稳定性的条件。

文献 [10] 则利用 Gronwall 不等式给出了具有变时滞的联想记忆的神经网络模型

$$\begin{cases} u'_i(t) = -c_i u_i(t) + \sum_{j=1}^p a_{ij}(t) f_j(v_j(t - \tau_{ij}(t))) + I_i(t) \\ i = 1, 2, \dots, n \\ v'_j(t) = -d_j v_j(t) + \sum_{i=1}^n b_{ji}(t) g_i(u_i(t - \sigma_{ji}(t))) + J_j(t) \\ j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (2)$$

的周期解的存在性的条件, 同时在附加的条件下, 证明了系统的其它解均全局指数收敛到这个周期解。

文献 [11] 研究了一类常系数的非线性双向联想记忆的时滞神经网络模型的稳定性问题, 给出了系统平衡点的全局渐近稳定性条件。

以上文献虽然给出了很好的判别准则, 但是他们的研究多数是集中在常系数的系统中, 而许多实际双向联想记忆神经网络的模型不仅是变时滞的系统, 而且其系统的系数也是随时间变化的, 因此, 本文综合考虑了具有变系数和变时滞的 BAM 神经网络平衡点的全局指数稳定性问题, 通过构造合适的 Lyapunov - Krasovskii 泛函以及不等式分析技巧, 给出了更广泛的一类 BAM 神经网络系统的全局指数稳定性的新结论。然后当时滞全恒等于零时, 我们推出了一类变系数 BAM 神经网络全局指数稳定的判别准则。

考虑如下双向联想记忆神经网络模型

$$\begin{cases} u'_i(t) = -c_i(t)u_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)f_j(v_j(t - \tau(t))) + I_i(t) \\ i = 1, 2, \dots, n \\ v'_j(t) = -d_j(t)v_j(t) + \sum_{i=1}^n b_{ji}(t)g_i(u_i(t - \sigma(t))) + J_j(t) \\ j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (3)$$

其中 $c_i(t) > 0$, $d_j(t) > 0$; $u_i(t)$ 和 $v_j(t)$ 分别表示第一层中第 i 个神经元和第二层中第 j 个神经元; $a_{ij}(t)$, $b_{ji}(t)$ 表示连接权, 它们是时间 t 的函数; $f_j(\cdot)$ 和 $g_j(\cdot)$ 为激励函数且满足全局利普希茨连续的条件, 即存在正数 α_j 和 β_j 对于所有的 $\xi_1, \xi_2 \in R$ 有如下不等式成立

$$\begin{aligned} |f_j(\xi_1) - f_j(\xi_2)| &\leq \alpha_j |\xi_1 - \xi_2|, j = 1, 2, \dots, p \\ |g_i(\xi_1) - g_i(\xi_2)| &\leq \beta_i |\xi_1 - \xi_2|, i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

$\tau(t)$ 和 $\sigma(t)$ 是连续可导函数且满足

$$\begin{aligned} 0 < \tau(t) &\leq \tau = \sup\{\tau(t)\}, \tau'(t) \leq 1 - \zeta \\ 0 < \sigma(t) &\leq \sigma = \sup\{\sigma(t)\}, \sigma'(t) \leq 1 - \eta \end{aligned}$$

其中 ζ, η 都是正的实常数。

系统 (3) 的初始条件为

$$\begin{aligned} u_i(s) &= \phi_i(s), s \in [-\tau^*, 0], i = 1, 2, \dots, n \\ v_{i-n}(s) &= \varphi_i(s), s \in [-\tau^*, 0], i = n+1, n+2, \dots, n+p \end{aligned}$$

其中 $\phi_i(s)$ ($i = 1, 2, \dots, n+p$) 是在 $[-\tau^*, 0]$ 上的连续函数, $\tau^* = \max\{\tau, \sigma\}$ 。

为了讨论的需要, 我们给出以下记号, 定义和引理:

如果 X 为 $n \times n$ 的可逆方阵则 X^{-1} 表示 X 的逆矩阵; X^T 表示 X 的转置矩阵; $X > (<) 0$ 表示 X 为正定 (负定) 矩阵; $\lambda_{\min}(X)$ 和 $\lambda_{\max}(X)$ 分别表示矩阵 X 的最小特征值和最大特征值。

$$\begin{aligned} c_i &= \inf_{t \geq 0} |c_i(t)|, d_j = \inf_{t \geq \tau} |d_j(t)| \\ a_{ij} &= \sup_{t \geq 0} |a_{ij}(t)|, b_{ji} = \sup_{t \geq \tau} |b_{ji}(t)| \\ i &= 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p \end{aligned}$$

为了叙述方便, 我们令

$$\begin{aligned} z_i(t) &= \begin{cases} u_i(t, \phi) - u_i(t, \varphi), i = 1, 2, \dots, n \\ v_{i-n}(t, \phi) - v_{i-n}(t, \varphi), i = n+1, \dots, n+p \end{cases} \\ h_i(z_i(t - l_i(t))) &= g_i[z_i(t - \sigma(t)) + u_i(t - \sigma(t), \varphi)] \\ &- g_i[u_i(t - \sigma(t), \varphi)] i = 1, 2, \dots, n \\ h_i(z_i(t - l_i(t))) &= f_{i-n}[z_{i-n}(t - \tau(t)) + v_{i-n}(t - \tau(t), \varphi)] \\ &- f_{i-n}[v_{i-n}(t - \tau(t), \varphi)] i = n+1, n+2, \dots, n+p \end{aligned}$$

于是系统 (3) 变为

$$\frac{dz_i(t)}{dt} = \begin{cases} -c_i(t)z_i(t) + \sum_{j=n+1}^{n+p} a_{ij}(t)h_j(z_j(t - l_i(t))) \\ i = 1, 2, \dots, n \\ -d_{i-n}(t)z_i(t) + \sum_{j=1}^n b_{i-nj}(t)h_j(z_j(t - l_i(t))) \\ i = n+1, \dots, n+p \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$\begin{aligned} \phi &= (\phi_1(t), \phi_2(t), \dots, \phi_{n+p}(t))^T \\ \varphi &= (\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_{n+p}(t))^T \\ u_i(t, \phi), v_{i-n}(t, \phi) &\text{ 或 } u_i(t, \varphi), v_{i-n}(t, \varphi) \end{aligned}$$

分别表示系统 (3) 在 $[-\tau^*, 0]$ 上过初始函数

$$\phi_i(s) = \begin{cases} u_i(s, \phi), i = 1, 2, \dots, n \\ v_{i-n}(s, \phi), i = n+1, \dots, n+p \end{cases}$$

或

$$\varphi_i(s) = \begin{cases} u_i(s, \varphi), i = 1, 2, \dots, n \\ v_{i-n}(s, \varphi), i = n+1, \dots, n+p \end{cases}$$

的解。于是系统 (4) 满足的初始函数为

$$\begin{aligned} z_i(s) &= \phi_i(s) - \varphi_i(s), s \in [-\tau^*, 0], \\ i &= 1, 2, \dots, n+p \end{aligned} \quad (5)$$

定义 1 若存在常数 $\varepsilon > 0$ 和 $k \geq 1$ 对于任意的 $t \geq 0$, 使得以下不等式成立

$$\|z(t)\| \leq \exp(-\varepsilon t) K \|\phi - \varphi\|$$

则称系统 (4) 的解为全局指数稳定的, 其中

$$\begin{aligned} z(t) &= (z_1(t), z_2(t), \dots, z_{n+p}(t))^T \\ \|z(t)\| &= \max_{1 \leq i \leq n+p} |z_i(t)| \\ \|\phi - \varphi\| &= \sup_{s \in [-\tau^*, 0]} \max_{1 \leq i \leq n+p} |\phi_i(s) - \varphi_i(s)| \end{aligned}$$

引理 1 (Schur-补引理) 线性矩阵不等式

$$\begin{bmatrix} Q(y) & S(y) \\ S^T(y) & R(y) \end{bmatrix} < 0 \text{ 等价于 } R(y) < 0, Q(y) - S(y)R(y)^{-1}S^T(y) < 0$$

其中

$$Q(y) = Q^T(y), R(y) = R^T(y)$$

1 主要结果

在这一部分, 我们将通过线性矩阵不等式的方法来讨论系统 (4) 的全局指数稳定性。

定理 1 系统 (4) 的平衡点是全局指数稳定的, 如果存在正定对角矩阵

$$P = \text{diag}(p_1, p_2, \dots, p_{n+p})$$

$$Q = \text{diag}(q_1, q_2, \dots, q_{n+p})$$

使得以下不等式成立

$$PDQ_1^{-1}D^T P - \mathcal{X}P < 0 \tag{6}$$

其中

$$D = \begin{pmatrix} 0 & D_2 \\ D_1 & 0 \end{pmatrix}, D_1 = (a_{ij})_{n \times p}, D_2 = (b_{ji})_{p \times n}$$

$$C = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_n, d_1, d_2, \dots, d_p)$$

$$Q_1 = \text{diag}(\eta_{q_1}, \eta_{q_2}, \dots, \eta_{q_n}, \zeta_{q_{n+1}}, \dots, \zeta_{q_{n+p}})$$

证明 由条件 (6) 可知, 存在 $\varepsilon > 0$ 充分小, 使得

$$2\varepsilon P + PD(Q^*)^{-1}D^T P - 2CP \leq 0 \tag{7}$$

其中

$$Q^* = \text{diag}(e^{-2\varepsilon\sigma} \eta_{q_1}, e^{-2\varepsilon\sigma} \eta_{q_2}, \dots, e^{-2\varepsilon\sigma} \eta_{q_n}, e^{-2\varepsilon\tau} \zeta_{q_{n+1}}, \dots, e^{-2\varepsilon\tau} \zeta_{q_{n+p}})$$

由式 (7) 左边是 ε 的连续函数, 且 $\varepsilon = 0$ 为不等式 (6), 所以当 $\varepsilon > 0$ 充分小时, 式 (7) 成立。

下面我们构造适当的 Lyapunov - krasovskii 泛函来推导出稳定性的新判据。构造下列的 Lyapunov - krasovskii 泛函

$$V(z(t)) = V_1(z(t)) + V_2(z(t))$$

其中

$$V_1(z(t)) = e^{2\varepsilon t} z^T(t) P z(t)$$

$$V_2(z(t)) = \sum_{i=1}^{n+p} \int_{t-l_i}^t e^{2\varepsilon s} q_i h_i^2(z_i(s)) ds$$

其中

$$P = \text{diag}(p_1, p_2, \dots, p_{n+p})$$

沿系统 (4) 对 $V_1(z(t))$ 和 $V_2(z(t))$ 关于时间 t 分

别求导, 可得

$$\begin{aligned} V'_1(z(t)) &= 2\varepsilon e^{2\varepsilon t} z^T(t) P z(t) \\ &- 2e^{2\varepsilon t} \left[\sum_{i=1}^n c_i(t) p_i z_i(t) + \sum_{j=1}^p d_j(t) p_{n+j} z_{n+j}(t) \right] \\ &+ 2e^{2\varepsilon t} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p p_i a_{ij}(t) z_i(t) h_{n+j}(z_{n+j}(t-l_i(t))) \\ &+ 2e^{2\varepsilon t} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n p_{n+j} b_{ji}(t) z_{n+j}(t) h_i(z_i(t-l_i(t))) \\ &\leq 2\varepsilon e^{2\varepsilon t} z^T(t) P z(t) \\ &- 2e^{2\varepsilon t} \left[\sum_{i=1}^n c_i p_i z_i^2(t) + \sum_{j=1}^p d_j p_{n+j} z_{n+j}^2(t) \right] \\ &+ 2e^{2\varepsilon t} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (a_{ij} p_i |z_i(t)| |h_{n+j}(z_{n+j}(t-l_i(t)))| \\ &+ b_{ji} p_{n+j} |z_{n+j}(t)| |h_i(z_i(t-l_i(t)))|) \\ &= e^{2\varepsilon t} |z(t)|^T (2\varepsilon P - 2PC) |z(t)| \\ &+ 2e^{2\varepsilon t} |z(t)|^T P \begin{pmatrix} 0 & D_1 \\ D_2 & 0 \end{pmatrix} |h(z(t-l(t)))| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= e^{2\varepsilon t} |z(t)|^T (2\varepsilon P - 2PC) |z(t)| \\ &+ 2e^{2\varepsilon t} |z(t)|^T PD |h(z(t-l(t)))| \\ &V'_2(z(t)) \\ &= e^{2\varepsilon t} \sum_{i=1}^{n+p} q_i [h_i^2(z_i(t)) - (1-l'(t))e^{-2\varepsilon l(t)} h_i^2(t-l(t))] \\ &\leq e^{2\varepsilon t} \sum_{i=1}^{n+p} q_i [h_i^2(z_i(t)) - k_i e^{-2\varepsilon l(t)} h_i^2(t-l(t))] \end{aligned}$$

其中

$$k_i = \begin{cases} \eta & i = 1, 2, \dots, n; \\ \zeta & i = n+1, \dots, n+p; \end{cases} l_i = \begin{cases} \sigma & i = 1, 2, \dots, n; \\ \tau & i = n+1, \dots, n+p \end{cases}$$

用矩阵表示, 可得

$$V'_2(z(t)) \leq e^{2\varepsilon t} |h(z(t))|^T Q |h(z(t))| - e^{2\varepsilon t} |h(z(t-l(t)))|^T Q^* |h(z(t-l(t)))|$$

其中

$$\begin{aligned} |z(t)| &= (|z_1(t)|, |z_2(t)|, \dots, |z_{n+p}(t)|)^T \\ |h(z(t-l(t)))| &= (|h_1(z_1(t-l_1(t))))|, |h_2(z_2(t-l_2(t))))|, \dots, |h_{n+p}(z_{n+p}(t-l_{n+p}(t))))|^T \end{aligned}$$

于是有

$$\begin{aligned} V'(z(t)) &= V'_1(z(t)) + V'_2(z(t)) \\ &\leq e^{2\varepsilon t} \cdot \begin{pmatrix} |z(t)| \\ |h(z(t-l(t)))| \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} 2(\varepsilon P - C)P & PD \\ D^T P & -Q^* \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} |z(t)| \\ |h(z(t-l(t)))| \end{pmatrix} \end{aligned}$$

根据定理的条件, 有不等式

$$2\varepsilon P + PD(Q^*)^{-1}D^T P - 2CP \leq 0$$

由 Schur- 补引理, 我们可以得到 $V'(z(t)) \leq 0$, 那么, 我们容易得到

$$\begin{aligned} V(Z(t)) &\leq V(Z(0)) \\ V(z(t)) &\leq V(z(0)) \end{aligned}$$

由于

$$\begin{aligned} V(z(0)) &= z^T(0) P z(0) + \sum_{i=1}^{n+p} \int_{(0)} e^{2\varepsilon s} q_i h_i^2(z_i(s)) ds \\ &\leq \max_{1 \leq i \leq n+p} \{p_i\} \|\phi - \varphi\|^2 + \sum_{i=1}^{n+p} \int_0^{\tau_i} q_i \mu_i ds \|\phi - \varphi\|^2 \\ &= \left(\max_{1 \leq i \leq n+p} \{p_i\} + \sum_{i=1}^{n+p} q_i \mu_i \tau_i \right) \|\phi - \varphi\|^2 \\ &= M \|\phi - \varphi\|^2 \end{aligned} \tag{8}$$

其中

$$\mu_i = \begin{cases} \beta_p & i = 1, 2, \dots, n; \\ \alpha_{i-n}, & i = n+1, \dots, n+p \end{cases}$$

$$M = \max_{1 \leq i \leq n+p} \{p_i\} + \sum_{i=1}^{n+p} q_i \mu_i \bar{\tau}$$

另一方面,根据 $V(z(t))$ 的定义,有

$$V(z(t)) \geq \min_{1 \leq i \leq n+p} \{p_i\} \|z(t)\|^2 e^{2\epsilon t} \quad (9)$$

成立。结合式(8)和式(9),我们可以得到如下不等式

$$\|z(t)\| \leq \sqrt{\frac{M}{\min_{1 \leq i \leq n+p} \{p_i\}}} \|\phi - \varphi\| e^{-\epsilon t}$$

由定义1可知,系统是全局指数稳定的。

当 $l_i(t) \equiv 0 (i = 1, 2, \dots, n+p)$ 时,系统(4)变为

$$\frac{dz_i(t)}{dt} = \begin{cases} -c_i(t)z_i(t) + \sum_{j=n+1}^{n+p} a_{ij}(t)h_j(z_j(t)) & i = 1, 2, \dots, n; \\ -d_{i-n}(t)z_i(t) + \sum_{j=1}^n b_{i-nj}(t)h_j(z_j(t)) & i = n+1, \dots, n+p \end{cases} \quad (10)$$

定理2 系统(10)的平衡点是全局指数稳定的,如果存在正定对角矩阵

$$P = \text{diag}(p_1, p_2, \dots, p_{n+p})$$

正定矩阵 Q 和常数 $\mu > 0$, 使得以下不等式成立

$$\frac{1}{\mu} PDQ^{-1} D^T P + \mathcal{W}QL - 2CP < 0 \quad (11)$$

其中

$$D = \begin{pmatrix} 0 & D_2 \\ D_1 & 0 \end{pmatrix}, D_1 = (a_{ij})_{n \times p}, D_2 = (b_{ji})_{p \times n}$$

$$C = \text{diag}(c_1, c_2, \dots, c_n, d_1, d_2, \dots, d_p)$$

$$L = \text{diag}(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p)$$

证明 由条件(11)可知,存在 $\epsilon > 0$ 充分小,使得

$$2\epsilon P + \frac{1}{\mu} PDQ^{-1} D^T P + \mathcal{W}QL - 2CP \leq 0 \quad (12)$$

构造 Lyapunov 函数为

$$V(z(t)) = e^{2\epsilon t} z^T(t) P z(t)$$

$$V'(z(t)) = 2\epsilon e^{2\epsilon t} z^T(t) P z(t)$$

$$- 2e^{2\epsilon t} \left[\sum_{i=1}^n c_i(t) p_i z_i^2(t) + \sum_{j=1}^p d_j(t) p_{n+j} z_{n+j}^2(t) \right]$$

$$+ 2e^{2\epsilon t} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p p_i a_{ij}(t) z_i(t) h_{n+j}(z_{n+j}(t))$$

$$+ 2e^{2\epsilon t} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n p_{n+j} b_{ji}(t) z_{n+j}(t) h_i(z_i(t))$$

$$\leq 2\epsilon e^{2\epsilon t} z^T(t) P z(t)$$

$$- 2e^{2\epsilon t} \left[\sum_{i=1}^n c_i p_i z_i^2(t) + \sum_{j=1}^p d_j p_{n+j} z_{n+j}^2(t) \right]$$

$$+ 2e^{2\epsilon t} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (a_{ij} p_i |z_i(t)| |h_{n+j}(z_{n+j}(t))|$$

$$+ b_{ji} p_{n+j} |z_{n+j}(t)| |h_i(z_i(t))|$$

$$= e^{2\epsilon t} |z(t)|^T (2\epsilon P - 2PC) |z(t)|$$

$$+ 2e^{2\epsilon t} |z(t)|^T PD |h(z(t))|$$

再有系统(3)中非线性函数满足的条件,有

$$|h_i(z_i)| \leq \begin{cases} \beta_i |z_i|, & i = 1, 2, \dots, n \\ \alpha_{i-n} |z_i|, & i = n+1, \dots, n+p \end{cases}$$

于是有

$$|h(z)| \leq L |z|$$

即

$$|h(z)|^T Q |h(z)| \leq |z|^T L Q L |z|$$

使用 S -过程,我们有

$$V'(z(t))$$

$$\leq e^{2\epsilon t} [|z(t)|^T (2\epsilon P - 2PC) |z(t)|$$

$$+ 2e^{2\epsilon t} |z(t)|^T PD |h(z(t))|$$

$$+ \mu |z|^T L Q L |z| - \mu |h(z)|^T Q |h(z)|]$$

$$= e^{2\epsilon t} \cdot \begin{pmatrix} |z| \\ |h(z)| \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} 2(\epsilon P - C)P + \mathcal{W}QL & PD \\ D^T P & -\mu Q \end{pmatrix}$$

$$\cdot \begin{pmatrix} |z| \\ |h(z)| \end{pmatrix}$$

其余类似定理1的证明。

2 结论

本文首先研究了具有变系数和变时滞的双向联想记忆神经网络的全局指数稳定性问题,通过构造适当的 Lyapunov-Krasovskii 泛函,结合不等式技巧给出了 BAM 神经网络的全局指数稳定的新判据,然后研究了变系数的 BAM 神经网络的稳定性问题,给出了神经网络系统全局指数稳定的充分条件。

参考文献:

- [1] Arık S, Tavşanoğlu V. Global asymptotic stability analysis of bidirectional associative memory neural networks with constant time delays[J]. Neurocomputing 2005, 68: 161-176
- [2] Park JH. Robust stability of bidirectional associative memory neural networks with time delays[J]. Physical Letters A, 2006, 349: 494-499
- [3] Lou X, Cui B. On the global robust asymptotic stability of BAM neural networks with time varying delays

- [J]. *Neurocomputing* 2006, 70: 273-279.
- [4] Cao J Miao M. Stability and Hopf bifurcation in a simplified BAM neural networks with two time delays [J]. *IEEE Trans Neural Networks* 2002, 13: 457-463.
- [5] Cao J Wang J Exponential stability and periodic oscillatory solution in BAM networks with delay [J], *IEEE Trans Neural Networks* 2002, 13: 457-463.
- [6] Yang H, Chu T, Zhang C. Exponential stability of neural networks with variable delays via LM I approach [J]. *Chaos, Solitons, Fractals* 2006, 30: 133-139.
- [7] Liao X, Yu J, Chen G. Novel stability criteria for bidirectional associative memory neural networks with time delays [J]. *Int J Circuit Theory Appl* 2002, 30: 519-546.
- [8] Mohamad S. Global bidirectional stability in continuous-time and discrete-time delayed bidirectional neural networks [J]. *Physica D*, 2001, 159: 233-251.
- [9] Liu X G, Martin R R, Wu M, et al Global exponential stability of bidirectional associative memory neural networks with time delays [J]. *IEEE Trans Neural Netw*, 2008, 19: 397-407.
- [10] Liu Z, Chen A, Cao J et al Existence and global exponential stability of periodic solution for BAM neural networks with periodic coefficients and time-varying delays [J]. *IEEE Trans Circuits Syst I* 2003, 50: 1162-1173.
- [11] Zhou Y Q, Zhong S M, Ye M, et al Global asymptotic stability analysis nonlinear differential equations in hybrid bidirectional associative memory neural networks with distributed time-varying delays [J]. *Neurocomputing* 2009, 72: 1803-1807.

New Criteria of Global Exponential Stability of BAM Neural Networks with Variable Coefficients and Time-Varying Delays

GUAN Peng, HUANG Yuan-qing

(1. School of Applied Mathematics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

2. School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract The global exponential stability problem of a class of variable coefficients and variable delays of the BAM neural network is studied. By choosing appropriate Lyapunov-Krasovskii functional and applying linear matrix inequality technique, the new criterias of global exponential stability of BAM neural networks are obtained.

Key words BAM neural network; Lyapunov-Krasovskii functional; global exponential stability; linear matrix inequality