第 15 卷第 6 期
1998 年 12 月

控制理论与应用
CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

Vol. 15, No. 6
Dec., 1998

时滞脉冲型 Hopfield 神经网络的全局指数稳定性*

关治洪　秦　忆
(华中理工大学自动控制工程系・武汉,430074)

摘要: 基于众多领域及生物神经网络本身所存在的脉冲瞬动现象,本文首次提出并研究了带时滞的脉冲型 Hopfield 神经网络的全局指定稳定性问题,并讨论了其平衡态的存在唯一性.

关键词: 脉冲; 时滞; 神经网络; 稳定性

1　引　言

由于神经网络在信息、电子、自动控制、计算机、人工智能、机器人、通信、雷达等领域具有广泛应用,目前,神经网络的研究愈来愈引起人们的重视. Hopfield 神经网络是一类典型的神经网络,它在函数逼近、模式识别、联想记忆、最优化计算等方面具有重要应用. 迄今为止,对连续型和离散型神经网络的研究已取得许多成果[1~4]. 然而,客观世界本身是复杂多样的,如生物、经济、控制、通信等领域和工程实际中,大量存在着脉冲瞬动现象[5~8],譬如生物体中的心脏跳动、血液循环、脉冲频率的调节,生物种群的生长等都存在着瞬动性. 显然,将这类瞬动现象,用脉冲型系统来描述更为恰当. 另一方面,生物神经网络本身也存在着脉冲瞬动现象. 因此,为了刻划具有脉冲瞬动性的神经网络,并由此来逼近、模拟和研究各个领域中的脉冲瞬动现象,一类新的神经网络——脉冲型神经网络的提出和研究便成为必要. 如所周知,神经网络的稳定性分析是神经网络应用的理论基础之一[2~4],为此,本文拟研究一类时滞脉冲型 Hopfield 神经网络的全局指数稳定性,并讨论其平衡态的存在唯一性.

2　网络模型

考虑由测度微分系统[5,6]描述的时滞脉冲型 Hopfield 神经网络

$$Dy_i = -a_i y_i + \sum_{j=1}^{n} a_{ij} F_j(y_j) Du_j + \sum_{j=1}^{n} b_{ij} G_j(y_j(t-\tau)) Dw_j + I_i, \quad i = 1, \cdots, n. \tag{1}$$

其中 $y = (y_1, \cdots, y_n)^{\mathrm{T}} \in \mathbb{R}^n$, y_i 是第 i 个神经元的状态变量, $I = (I_1, \cdots, I_n)^{\mathrm{T}}$ 是网络的输入向量, $a_i > 0$, $\tau \geqslant 0$, a_{ij}, b_{ij} 均为常数; Dy_i, Du_i 和 Dw_i 分别表示 y_i, u_i 和 w_i 的分布导数, $F_i(\cdot)$ 和 $G_i(\cdot)$ 关于测度 $\mathrm{d}u_i$ 和 $\mathrm{d}w_i$ 可积, $u_i, w_i: J = [t_0, +\infty) \to \mathbb{R}$ 为右连续并在 J 的任一紧集上为有界变差函数, $i, j = 1, \cdots, n$.

易知,神经网络系统(1)的右端在 u_i 和 w_i 的不连续点出现脉冲干扰,相应的神经元状态在该时刻瞬动. 不失一般性,设

$$u_i(t) = t + \sum_{k=1}^{\infty} \beta_{ik} H_k(t), \quad w_i(t) = t + \sum_{k=1}^{\infty} r_{ik} H_k(t). \tag{2}$$

式中 β_{ik}, γ_{ik} 为常数, $H_k(t)$ 为 Heaviside 函数,即

$$H_k(t) = \begin{cases} 0, & t < t_k, \\ 1, & t \geqslant t_k. \end{cases}$$

---

* 国家自然科学基金(69774038)、中国石油天然气总公司专项基金和华中理工大学基金的资助项目.
本文于 1997 年 4 月 8 日收到, 1998 年 7 月 13 日收到修改稿.

这里 $t_1 < t_2 < \cdots$ 是孤立点,$\lim\limits_{k\to\infty} t_k = +\infty$.

在系统(1)和(2)中,如果 $\tau = 0, a_i = \frac{1}{C_i R_i}, a_{ij} = \frac{T_{ij}}{C_i}, b_{ij} = 0, \beta_{ik} = 0 (i, j = 1, \cdots, n, k = 1, 2, \cdots)$ 则系统(1)成为

$$\begin{cases} C_i \dfrac{\mathrm{d}y_i}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{y_i}{R_i} + \sum\limits_{j=1}^{n} T_{ij} z_j + C_i I_i, \\ z_i = F_i(y_i), \quad i = 1, \cdots, n. \end{cases}$$

这是连续型 Hopfield 动态反馈神经网络模型.文[2~4]在 $(T_{ij})_{n\times n}$ 对称和非对称及 $F_i(y_i)$ 连续可微的情况下研究了该系统平衡态的稳定性.由此可见,本文研究的模型(1)具有一定的代表性.

如果存在向量函数 $y_0(t) = (y_{10}(t), \cdots, y_{n0}(t))^{\mathrm{T}}$ 使得对 $i = 1, \cdots, n$,

$$-a_i y_{i0}(t) + \sum_{j=1}^{n} a_{ij} F_j(y_{j0}(t)) Du_j + \sum_{j=1}^{n} b_{ij} G_j(y_{j0}(t-\tau)) Dw_j + I_i = 0, \tag{3}$$

则称 $y_0(t)$ 是系统(1)的平衡态.

设 $y = y_0(t)$ 是系统(1)的平衡态,令 $x_i = y_i - y_{i0}, i = 1, \cdots, n$,则系统(1)变为

$$Dx_i = -a_i x_i(t) + \sum_{j=1}^{n} a_{ij} f_j(x_j(t)) Du_j + \sum_{j=1}^{n} b_{ij} g_j(x_j(t-\tau)) Dw_j. \tag{4}$$

式中

$$f_j(x_j(t)) = F_j(x_j(t) + y_{j0}(t)) - F_j(y_{j0}(t)),$$
$$g_j(x_j(t-\tau)) = G_j(x_j(t-\tau) + y_{j0}(t-\tau)) - G_j(y_{j0}(t-\tau)).$$

易知,系统(4)的零解的稳定性对应系统(1)的平衡态 $y = y_0$ 的稳定性.

设系统(4)的初始条件为

$$x_i(t) = \varphi_i(t), \quad t \in [t_0 - \tau, t_0], \quad i = 1, \cdots, n.$$

其中 $\Phi(t) = (\varphi_1(t), \cdots, \varphi_n(t))^{\mathrm{T}}$,$\varphi_i(t)$ 在 $[t_0 - \tau, t_0]$ 上为有界变差函数且右连续.

在下面的讨论中,要用到下述引理.

引理 1[5] 设

i) $z_M^+(t, \xi, \eta)$ 和 $z_M^-(t, \xi, \eta)$ 分别是

$$z' = h(t, z), \quad z(\xi) = \eta$$

在 $t \geqslant \xi$ 和 $t \leqslant \xi$ 某区间上的最大解;

ii) 存在函数 $v(t)(t \in [t_0 - \tau, \infty))$:在 $[t_0, \infty)$ 上连续,使得对于 $t \geqslant t_0$,当 $v(\theta) \leqslant z_M^-(\theta, t, v(t))(\theta \in [t - \tau, t])$ 时必有

$$D^+ v \leqslant h(t, v(t)).$$

式中 D^+ 为 Dini 右上导数.则 $v(\theta) \leqslant z_M^-(\theta, t_0, z_0)(\theta \in [t_0 - \tau, t_0])$ 蕴涵

$$v(t) \leqslant z_M^+(t, t_0, z_0), \quad t \geqslant t_0.$$

引理 2[4] 对非线性系统

$$\sum_{j=1}^{n} T_{ij} v_j - R_i p_i(v_i) + q_i = 0, \quad i = 1, \cdots, n.$$

设 $p_i' \geqslant 0$ 且有界,其中 T_{ij}, R_i, q_i 均为常数,若 $(-T_{ij})_{n\times n}$ 为 M 矩阵,则该系统的解存在唯一.

3 稳定性分析

对于 $x \in \mathbb{R}^n$，取 $\| x \| = \| x \|_1 = \sum_{i=1}^{n} |x_i|$，相应的矩阵范数也取为 $\| \cdot \|_1$，对于系统(4)，本节总假定 $t_k - t_{k-1} \geqslant \delta\tau, k \in \mathbb{N}$(自然数集)，其中 $\delta > 1, \tau > 0$ 为常数，对于 $A = (a_{ij})_{n\times n}$，$B = (b_{ij})_{n\times n}, d_1 > 0, \cdots, d_n > 0$，记

$$\sigma_j^+ = \begin{cases} 0, & \text{当 } a_{jj} + \sum\limits_{i\neq j}^{n} \dfrac{d_i}{d_j}|a_{ij}| \leqslant 0, \\ a_{jj} + \sum\limits_{i\neq j}^{n} \dfrac{d_i}{d_j}|a_{ij}|, & \text{当 } a_{jj} + \sum\limits_{i\neq j}^{n} \dfrac{d_i}{d_j}|a_{ij}| > 0, \end{cases} \quad b_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{d_j}|b_{ij}|, \tag{5}$$

$$\alpha_k = \max_{1\leqslant j\leqslant n}\Big(\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{d_j}|a_{ij}\beta_{jk}|f_j\Big),\ \beta_k = \frac{1}{1-\alpha_k},\ \gamma_k = \beta_k \max_{1\leqslant j\leqslant n}\Big(\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{d_j}|b_{ij}\gamma_{jk}|g_j\Big). \tag{6}$$

其中 f_i 和 g_i 由下面定理 1 的条件 i)给出.

定理 1 对于系统(4)，若存在常数 $d_i > 0$，使得当 $i = 1, \cdots, n$ 和 $k \in \mathbb{N}$ 时有

i) $zf_i(z) \geqslant 0, zg_i(z) \geqslant 0, |f_i(z)| \leqslant f_i|z|, |g_i(z)| \leqslant g_i|z|, z \in \mathbb{R}$，其中 f_i 和 g_i 为常数；

ii) $-a + b < 0$. 式中 $a = \min\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\{a_i - \sigma_i^+ f_i\} > 0, b = \max\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\{b_i g_i\}$，$\sigma_i^+$ 和 b_i 由(5)式给出；

iii) $\beta_k e^{-\lambda\tau} + \gamma_k \leqslant M$. 其中 β_k, γ_k 由式(6)给出，$\alpha_k < 1, M \geqslant 1$ 为常数，而 λ 为 $\lambda - a + be^{\lambda\tau} \leqslant 0$ 的某正解.

记 $\gamma = \dfrac{1}{\delta\tau}\ln(M) + (\dfrac{1}{\delta} - 1)\lambda$，则 $\gamma = 0$ 和 $\gamma < 0$ 分别蕴涵系统(4)的零解也即系统(1)的平衡态 $y = y_0$ 一致稳定和全局指数稳定.

证　由式(2)知 $u_j'(t)$ 和 $w_j'(t)$ 在 $[t_{k-1}, t_k)$ 上存在，故由系统(4)得

$$x_i'(t) = -a_i x_i(t) + \sum_{j=1}^{n} a_{ij} f_j(x_j(t)) + \sum_{j=1}^{n} b_{ij} g_j(x_j(t-\tau)),\quad t \in [t_{k-1}, t_k), \tag{7}$$

作 Lyapunov 函数 $v(x) = \sum_{i=1}^{n} d_i |x_i| (x \in \mathbb{R}^n)$，其中 $d_i > 0$ 为常数. 当 $t \in [t_{k-1}, t_k)$ 时，$v(x)$ 沿系统(7)的运动轨道的 Dini 右上导数为

$$\begin{aligned} D^+ v(x(t))|_{(7)} &= \sum_{i=1}^{n} d_i\Big[-a_i x_i(t) + \sum_{j=1}^{n} a_{ij} f_j(x_j(t)) + \sum_{j=1}^{n} b_{ij} g_j(x_j(t-\tau))\Big]\mathrm{sgn}(x_i) \\ &\leqslant -\sum_{j=1}^{n} d_j a_j |x_j(t)| + \sum_{j=1}^{n}\Big(d_j a_{jj} + \sum_{i\neq j}^{n} d_i |a_{ij}|\Big)|f_j(x_j(t))| \\ &\quad + \sum_{j=1}^{n}\Big(\sum_{i=1}^{n} d_i |b_{ij}|\Big)|g_j(x_j(t-\tau))| \\ &\leqslant -\sum_{j=1}^{n} a_j d_j |x_j(t)| + \sum_{j=1}^{n} \sigma_j^+ d_j f_j |x_j(t)| + \sum_{j=1}^{n} b_j d_j g_j |x_j(t-\tau)| \\ &\leqslant -a\sum_{j=1}^{n} d_j |x_j(t)| + b\sum_{j=1}^{n} d_j |x_j(t-\tau)| \\ &= -av(t) + bv(t-\tau),\quad t \in [t_{k-1}, t_k). \end{aligned} \tag{8}$$

其中 $v(t) \triangleq v(x(t))$，由条件 $-a + b < 0$ 知不等式 $\lambda - a + be^{\lambda t} \leqslant 0$ 有正解 $\lambda > 0$，今取方程

$$z' = -\lambda z \tag{9}$$

为比较方程. 对于 $t \in [t_{k-1}, t_k)$，当

$$v(\theta) \leqslant z(\theta,t,v(t)) = v(t)\mathrm{e}^{-\lambda(\theta-t)}, \quad \theta \in [t-\tau,t)$$

时,(8)式成为

$$D^{+} v(x(t))|_{(7)} \leqslant (-a + b\mathrm{e}^{\lambda\tau})v(t) \leqslant -\lambda v(t), \quad t \in [t_{k-1},t_k). \tag{10}$$

另一方面,由系统(4)知

$$\begin{aligned}&x_i(t_k,t_0,\Phi) - x_i(t_k - h,t_0,\Phi)\\ &= \int_{t_k-h}^{t_k} a_i x_i(s)\mathrm{d}s + \int_{t_k-h}^{t_k}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}f_j(x_j(s))\mathrm{d}u_j(s) + \int_{t_k-h}^{t_k}\sum_{j=1}^{n} b_{ij}g_j(x_j(s-\tau))\mathrm{d}w_j(s).\end{aligned}$$

其中 $h > 0$ 为充分小的正数,在上式中令 $h \to 0^{+}$, 则

$$x_i(t_k,t_0,\Phi) - x_i(t_k -,t_0,\Phi) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}f_j(x_j(t_k))\beta_{jk} + \sum_{j=1}^{n} b_{ij}g_j(x_j(t_k-\tau))\gamma_{jk},$$

从而

$$|x_i(t_k)| \leqslant |x_i(t_k -)| + \sum_{j=1}^{n} |a_{ij}\beta_{jk}|f_j|x_j(t_k)| + \sum_{j=1}^{n} |b_{ij}\gamma_{jk}|g_j|x_j(t_k-\tau)|,$$

进而可得

$$v(t_k) \leqslant \beta_k v(t_k -) + \gamma_k v(t_k - \tau). \tag{11}$$

其中 β_k 和 γ_k 由式(6)给出.

当 $k=1$ 时,在$[t_0-\tau,t_0]$上由于 $x_i(t)=\varphi_i(t)$,故 $v(t) = \sum\limits_{i=1}^{n} d_i|\varphi_i(t)| \triangleq \|\Phi(t)\|_d, t \in [t_0-\tau,t_0]$,今取 $z_0 = \|\Phi\|_d = \sup\limits_{t_0-\tau\leqslant t\leqslant t_0} \|\Phi(t)\|_d$, 则

$$v(\theta) = \|\Phi(\theta)\|_d \leqslant \|\Phi\|_d \leqslant \|\Phi\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(\theta-t_0)} = z(\theta,t_0,z_0), \ \theta \in [t_0-\tau,t_0]. \tag{12}$$

由(9)、(10)及(12)式,利用引理1有

$$v(t) \leqslant z(t,t_0,z_0) = \|\Phi\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(t-t_0)}, \quad t \in [t_0,t_1). \tag{13}$$

由此得

$$v(t_1 -) \leqslant \|\Phi\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(t_1-t_0)}. \tag{14}$$

结合(11)、(13)和(14)式,再注意到 $t_1 - t_0 \geqslant \delta\tau(\delta > 1)$ 及条件 iii),有

$$\begin{aligned}v(t_1) &\leqslant \beta_1 v(t_1 -) + \gamma_1 v(t_1 - \tau)\\ &\leqslant \beta_1\|\Phi\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(t_1-t_0)} + \gamma_1\|\Phi\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(t_1-\tau-t_0)}\\ &\leqslant M\|\Phi\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(t_1-\tau-t_0)}.\end{aligned} \tag{15}$$

当 $k=2$ 时,定义一个函数 $\Phi_1(t)$,使得 $v(t) = \|\Phi_1(t)\|_d, t \in [t_1-\tau,t_1]$, 则

$$v(\theta) = \|\Phi_1(\theta)\|_d \leqslant \|\Phi_1\|_d \leqslant \|\Phi_1\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(\theta-t_1)} = z(\theta,t_1,z_1), \theta \in [t_1-\tau,t_1]. \tag{16}$$

其中 $z_1 = \|\Phi_1\|_d$, 由(9)、(10)和(16)式,应用引理1得

$$v(t) \leqslant z(t,t_1,z_1) = \|\Phi_1\|_d \mathrm{e}^{-\lambda(t-t_1)}, \quad t \in [t_1,t_2). \tag{17}$$

据(13)和(15)式不难得到

$$\|\Phi_1\|_d = \leqslant \max\{\sup_{t_1-\tau\leqslant t<t_1} v(t), v(t_1)\} \leqslant \|\Phi\|_d M\mathrm{e}^{-\lambda(t_1-t_0-\tau)}.$$

再注意到(17)式有

$$v(t) \leqslant \|\Phi\|_d \widetilde{M}\mathrm{e}^{-\lambda(t-t_0)}, \quad t \in [t_1,t_2).$$

其中 $\widetilde{M} = M\mathrm{e}^{\lambda\tau}$. 依次类推可得

$$v(t) \leqslant \|\Phi\|_d \widetilde{M}^{k-1}\mathrm{e}^{-\lambda(t-t_0)}, \quad t \in [t_{k-1},t_k). \tag{18}$$

注意到 $t_k - t_{k-1} \geqslant \delta\tau, \delta > 1, \tau > 0, M \geqslant 1$, 故

$$\widetilde{M}^{k-1} \leqslant \exp\left[\frac{\ln\widetilde{M}}{\delta\tau}(t_{k-1}-t_0)\right] \leqslant \exp\left[\frac{\ln\widetilde{M}}{\delta\tau}(t-t_0)\right], \quad t \in [t_{k-1}, t_k),$$

因此(18)式成为

$$v(t) \leqslant \|\Phi\|_d e^{\gamma(t-t_0)}.$$

即

$$\|x(t)\| \leqslant \frac{d_M}{d_m}\|\Phi\| e^{\gamma(t-t_0)}, \quad t \geqslant t_0.$$

其中 $d_M = \max\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\{d_i\}, d_m = \min\limits_{1\leqslant i\leqslant n}\{d_i\}, \gamma = \frac{1}{\delta\tau}\ln M + (\frac{1}{\delta}-1)\lambda$. 由此知定理 1 结论成立.　证毕.

4　平衡态的存在唯一性

下面讨论非线性系统(1)的平衡态的存在性与唯一性. 为叙述方便,记

$$A = (a_{ij})_{n\times n}, \quad B = (b_{ij})_{n\times n}, \quad A_k = (a_{ij}\beta_{jk})_{n\times n}, \quad B_k = (b_{ij}\gamma_{jk})_{n\times n},$$
$$R = \mathrm{diag}(a_1,\cdots,a_n), I = (I_1,\cdots,I_n)^T, \quad C = (C_1,\cdots,C_n)^T,$$
$$F(C) = (F_1(C_1),\cdots,F_n(C_n))^T, \quad G(C) = (G_1(C_1),\cdots,G_n(C_n))^T,$$
$$F(y(\cdot)) = F_1(y_1(\cdot)),\cdots,F_n(y_n(\cdot)))^T,$$
$$G(y(\cdot)) = (G_1(y_1(\cdot)),\cdots,G_n(y_n(\cdot)))^T.$$

定理 2　对系统(1),设 $p_i' \triangleq (F_i^{-1})' \geqslant 0$ 且有界$(i=1,\cdots,n)$. 若 B_k 可逆,$BB_k^{-1}A_k - A$ 为 M 矩阵$(k=1,2,\cdots)$,则系统(1)存在唯一的平衡态.

证　易见,系统(1)的平衡态的存在唯一性等价于系统

$$\begin{cases} -a_i y_i(t) + \sum\limits_{j=1}^n a_{ij}F_j(y_j(t)) + \sum\limits_{j=1}^n b_{ij}G_j(y_j(t-\tau)) + I_i = 0, \quad t\in[t_{k-1},t_k), \\ \sum\limits_{j=1}^n a_{ij}\beta_{jk}F_j(y_j(t_k)) + \sum\limits_{j=1}^n b_{ij}\gamma_{jk}G_j(y_j(t_k-\tau)) = 0. \end{cases} \tag{19}$$

$(i=1,\cdots,n, k=1,2,\cdots)$ 存在唯一的解. 将(19)式简记为

$$\begin{cases} -Ry(t) + AF(y(t)) + BG(y(t-\tau)) + I = 0, \quad t\in[t_{k-1},t_k), \\ A_kF(y(t_k)) + B_kG(y(t_k-\tau)) = 0, \end{cases} \tag{20}$$

$(k=1,2,\cdots)$,其中 R,I,A,B,F,G,A_k,B_k 如前所述. 下面证明系统(20)存在唯一的定常解 $C = (C_1,\cdots,C_n)^T$, 即证明

$$-RC + AF(C) + BG(C) + I = 0, \tag{21$_1$}$$
$$A_kF(C) + B_kG(C) = 0, \quad k=1,2,\cdots \tag{21$_2$}$$

有唯一解.

由于 B_k 可逆,则由$(21)_2$式得 $G(C) = -B_k^{-1}A_kF(C)$, 代入$(21)_1$式有

$$-RC + (A - BB_k^{-1}A_k)F(C) + I = 0, \tag{22}$$

记 $F(C) = V = (v_1,\cdots,v_n)^T$,即 $C = F^{-1}(V) \triangleq (F_1^{-1}(v_1),\cdots,F_n^{-1}(v_n))^T \triangleq P(V) = (p_1(v_1),\cdots,p_n(v_n))^T$, 则(22)式为

$$(A - BB_k^{-1}A_k)V - RP(V) + I = 0.$$

由引理 2 知,当 $BB_k^{-1}A_k - A$ 为 M 矩阵时,上式存在唯一解,由此证明了定理结论.　证毕.

类似可得下述结论.

定理 3　对系统(1),设 $(G_i^{-1})' \geqslant 0$ 且有界$(i=1,\cdots,n)$. 若 A_k 可逆,且 $AA_k^{-1}B_k - B$ 为 M 矩阵$(k=1,2,\cdots)$,则系统(1)存在唯一的平衡态.

参 考 文 献

1 Hopfield, J. J.. Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons. Proc. Natl. Acad. Sci. ,USA,1984,81:3088−3092

2 Guez,A. ,Protopopsecu,V. and Barhen,J.. On the stability,storage capacity and design of nonlinear continuous neural networks. IEEE Trans. Syst. Man and Cybern. ,1988,18(1):80−87

3 Matsuoka,K.. Stability conditions for nonlinear continuous neural networks with asymmetric connection weights. Neural Networks,1992,5:495−499

4 廖晓昕. Hopfield 型神经网络的稳定性. 中国科学,A 辑,1993,23(10):1025−1035

5 刘永清,关治洪. 测度型脉冲大系统的稳定镇定与控制. 广州:华南理工大学出版社,1996

6 Pandit,S. G. and Deo,S. G.. Differential Systems Involving Impulses. New York:Springer-Verlag,1982

7 Guan Zhihong,Liu Yongqing,Wen Xiangcai. Decentralized stabilization of singular and time-delay large-scale control systems with impulsive solutions. IEEE Trans. Automat. Contr. ,1995,AC-40(8):1437−1441

8 Guan Zhihong,Liu Yongqing. The stability properties of nonlinear measure large scale systems with impulse effect. Int. J. Computers and Math. Appl. ,1994,28(9):89−99

Exponential Stability of Impulsive Hopfield Neural Networks with Delays

GUAN Zhihong and QIN Yi

(Department of Automatic Control Engineering, Huazhong University of Science and Technology · Wuhan,430074,PRC)

Abstract: On the basis of the fact that many evolutionary processes,especially for biological neural networks,exhibit impulsive phenomena,the problem of the exponential stability (in the large) for impulsive Hopfield neural networks with delays which has not been studied up to now is introduced and studied in the paper. The stability theory,existence and uniquenes of the equilibrium for such neural network dynamics are established.

Key words: impulses; delays; neural networks; stability

本文作者简介

关治洪 1955 年生. 1994 年 7 月在华南理工大学自动控制理论及应用专业获博士学位,1994 年 11 月任江汉石油学院教授,1996 年 10 月在华南理工大学电子学与通信博士后流动站出站. 现为华中理工大学自动控制工程系教授,博士生导师. 目前主要从事非线性控制理论、方法及应用研究.

秦 忆 1945 年生. 1969 年毕业于华中理工大学电工系. 现任华中理工大学自动控制工程系教授,博士生导师,华中理工大学副校长. 目前主要从事运动控制理论及其在交流伺服系统中的应用研究.