

具时延的细胞神经网络的全局渐近稳定性分析¹

曹进德

(云南大学成人教育学院 昆明 650091)

摘 要 本文通过 Lyapunov 泛函方法和新的不等式 $a^2b \leq (2a^3 + b^3)/3, (a, b \geq 0)$ 分析技巧, 讨论了一类具时延的细胞神经网络 DCNN 全局渐近稳定性问题, 得到了若干新的充分判据, 这些判据可用于设计出各种全局稳定的网络。

关键词 具时延的细胞神经网络 (DCNN), Lyapunov 泛函, 不等式, 全局渐近稳定性

中图分类号 TN911.23, TN-052

1 引 言

自从 L.O.Chua^[1,2] 在 1988 年首先提出细胞神经网络 (CNN) 的理论和应用以来, 由于其巨大的潜在应用前景, CNN 现已成为神经网络研究的新热点。我们知道 CNN 是由很多称为细胞 (cell) 的单元组成的, 它的结构与细胞自动机相似, 即每个细胞只与它的邻近细胞有连接。一个细胞是一个非线性电路单元, 通常包含线性电容、线性电阻、线性和非线性压控电流源。关于 CNN 的电路图及连接方式可参见文献 [1]。CNN 可用于信号处理, 特别擅长于处理静态图像^[2], 而动态图像处理却需要引入具时延的神经网络 (DCNN)^[3-10]。这时 DCNN 是由具时延的微分方程组即泛函微分方程组描述的, 而 CNN 实际上是常微分方程组刻划的。众所周知对 DCNN 和 CNN 的稳定性研究是一个重要的理论问题, 具有十分重要的理论和应用价值, 对 CNN, DCNN 已有一些稳定性结果^[1-10], 本文通过构造适当的 Lyapunov 泛函和新的不等式 $a^2b \leq (2a^3 + b^3)/3, (a, b \geq 0)$ 分析技巧, 拟对 DCNN 的全局稳定性问题作进一步的深入探讨, 给出 DCNN 全局渐近稳定的一系列全新的充分判据, 且这些充分判据进一步完善、改进了这方面已得到的结果, 另外我们的判据与时延无关, 即这里的稳定实际上是无条件全局稳定, 换言之, 对任何时延, 在我们的条件下 DCNN 都是全局渐近稳定的。

本文考虑的 DCNN 由下面具时延的微分方程组描述

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = -x_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij} f_j(x_j(t)) + \sum_{j=1}^n b_{ij} f_j(x_j(t - \tau_j)) + I_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

其中 n 是网络中神经元的个数, $x_i(t)$ 表示第 i 个神经元在 t 时刻的状态变量, $f_j(x_j(t))$ 表示第 j 个神经元在 t 时刻的输出, a_{ij}, b_{ij}, I_i 是常数, a_{ij} 表示第 j 个神经元在 t 时刻的输出对第 i 个神经元的影响强度, b_{ij} 表示第 j 个神经元在 $t - \tau_j$ 时刻的输出对第 i 个神经元的影响强度, I_i 是对第 i 个神经元的偏置, τ_j 是非负常数, 该方程组表明神经也受其它神经元在该时刻以前的输出的影响, $f_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 是第 i 个神经元的输出, 我们假定神经元的输出 $f_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 与其状态满足如下关系: $(H_1) f_i(i = 1, 2, \dots, n)$ 在 R 上有

¹ 1998-05-12 收到, 1999-05-29 定稿

云南省应用基础基金和云南省跨世纪人才专项基金资助项目

界; (H_2) 存在常数 $\mu_i > 0$ 使得 $|f_i(x') - f_i(x'')| \leq \mu_i |x' - x''|$ 对于 $f_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 及任意 $x', x'' \in R$ 成立. 易知, 如果 (H_2) 成立, 则 f_i 显然是 R 上的连续函数. 特别地, 如果神经元的输出与其状态的关系由分段线性函数 $f_i(x) = \frac{1}{2}(|x+1| - |x-1|)$ 刻画, 则不难知 f_i 显然具有 $(H_1), (H_2)$ 的性质, 且此时 $\mu_i \equiv 1 (i = 1, 2, \dots, n)$. 有关 (1) 式的电路实现和稳定性的概念和方法可参见文献 [1,3] 和文献 [11].

2 DCNN 的稳定性分析

引理 1 对于神经元输出 $f_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 如果具有性质 (H_1) 和 (H_2) , 则 DCNN(1) 式必存在平衡点.

证明 不难知道, 如果 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T$ 是 DCNN(1) 式的平衡点, 那么 x^* 一定满足非线性方程

$$x_i^* = \sum_{j=1}^n a_{ij} f_j(x_j^*) + \sum_{j=1}^n b_{ij} f_j(x_j^*) + I_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} + b_{ij}) f_j(x_j^*) + I_i. \quad (2)$$

这里令 $B = (a_{ij} + b_{ij})_{n \times n}$, $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)^T$, $f(x^*) = (f_1(x_1^*), f_2(x_2^*), \dots, f_n(x_n^*))^T$, 于是 (2) 式可写成如下矩阵 - 向量形式

$$x^* = F(x^*) = Bf(x^*) + I. \quad (3)$$

这样 x^* 就是 $F: R^n \rightarrow R^n$ 的不动点, 利用众所周知的 Brouwer 不动点定理可以证明映射 F 的不动点的存在性. 事实上, 易证 $F(x)$ 的第 i 分量满足

$$|(F(x))_i| = \left| \sum_{j=1}^n (a_{ij} + b_{ij}) f_j(x_j) + I_i \right| \leq \sum_{j=1}^n |a_{ij} + b_{ij}| |f_j(x_j)| + |I_i| \leq \sum_{j=1}^n |a_{ij} + b_{ij}| M + |I_i|.$$

这里 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $M = \max_{1 \leq i \leq n} \sup_s |f_i(s)|$. 现令 $K = \max_{1 \leq i \leq n} (\sum_{j=1}^n |a_{ij} + b_{ij}| M + |I_i|)$, 则 F 的值域 $F(R^n) \subset Q = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n \mid |x_i| \leq K, i = 1, 2, \dots, n\}$. 易见 F 是连续的, 现把 F 限制在 Q 上, 显然 $F|_Q: Q \rightarrow Q$, 即 $F|_Q$ 将 R^n 中的一个有界闭凸集 Q 映成自身, 于是根据著名的 Brouwer 不动点定理知, F 至少有一个不动点, 兹记该不动点为 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T$. 证毕

注记 1 Brouwer 定理并不能确保不动点的唯一性, 然而, 在本文中获得的充分条件, 不仅可以确保平衡点的唯一性, 而且可以保证平衡态的全局渐近稳定性, 平衡点的唯一性可由全局渐近稳定性诱导出来.

引理 2 对 DCNN(1) 式, 若神经元的输出 $f_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 满足 (H_1) 和 (H_2) , 则 DCNN(1) 式的所有解在 $[0, +\infty)$ 上均有界.

证明 易见 DCNN(1) 式的任一解都满足微分不等式

$$-x_i(t) - \alpha_i \leq \frac{dx_i(t)}{dt} \leq -x_i(t) + \alpha_i,$$

其中 $\alpha_i = \sum_{j=1}^n (|a_{ij}| + |b_{ij}|) \sup_{s \in R} |f_j(s)| + |I_i|$, 由上面的不等式可知, DCNN(1) 式的解在 $[0, +\infty)$ 上均有界. 证毕

定理 对 DCNN(1) 式, 若神经元的输出 $f_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 满足 (H_1) 和 (H_2) , 且系统参数 $a_{ij}, b_{ij}, \mu_j (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 满足下列条件之一:

- (1) $\sum_{j=1}^n [2\mu_j (|a_{ij}| + |b_{ij}|) + \mu_i (|a_{ji}| + |b_{ji}|)] < 3$;
- (2) $\sum_{j=1}^n [2\mu_j^{3/2} (|a_{ij}| + |b_{ij}|) + (|a_{ji}| + |b_{ji}|)] < 3$;
- (3) $\sum_{j=1}^n [2\mu_j |a_{ij}| + 2\mu_j^{3/2} |b_{ij}| + \mu_i |a_{ji}| + |b_{ji}|] < 3$;
- (4) $\sum_{j=1}^n [2(|a_{ij}| + |b_{ij}|) + \mu_i^3 (|a_{ji}| + |b_{ji}|)] < 3$;

则 DCNN(1) 式的平衡点 x^* 是全局渐近稳定的且与时延无关.

证明 设 $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)^T$ 是 DCNN(1) 式的平衡点, 对 (1) 式作变换替换 $y_i(t) = x_i(t) - x_i^*$, $(i = 1, 2, \dots, n)$, 可化为

$$\begin{aligned} \frac{dy_i(t)}{dt} = & -y_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij} (f_j(x_j^* + y_j(t)) - f_j(x_j^*)) \\ & + \sum_{j=1}^n b_{ij} (f_j(x_j^* + y_j(t - \tau_j)) - f_j(x_j^*)). \end{aligned} \quad (4)$$

显然 $(0, 0, \dots, 0)$ 是 (4) 式的平衡点, 欲证 x^* 是 DCNN(1) 式的全局渐近稳定解, 只需证零解是 (4) 式的全局渐近稳定平衡点. (1) 式和 (4) 式解的局部存在性可通过分步法来确定, 而解在 $[0, +\infty)$ 上存在性可由以下分析得到.

(a) 如果条件 (1) 满足, 我们考虑 Lyapunov 泛函:

$$V_1(t) = V_1(y)(t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n (|y_i(t)|^3) + \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j \int_{t-\tau_j}^t |y_j(s)|^3 ds. \quad (5)$$

沿 (4) 式的解计算 V_1 的上右导数 D^+V_1 易得

$$\begin{aligned} D^+V_1 \leq & \sum_{i=1}^n \left[|y_i(t)|^2 (-|y_i(t)| + \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \mu_j |y_j(t)| + \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j |y_j(t - \tau_j)|) \right. \\ & \left. + \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j (|y_j(t)|^3 - |y_j(t - \tau_j)|^3) \right] \\ = & \sum_{i=1}^n \left[(-|y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \mu_j |y_i(t)|^2 |y_j(t)| + \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j |y_i(t)|^2 |y_j(t - \tau_j)|) \right. \\ & \left. + \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j (|y_j(t)|^3 - |y_j(t - \tau_j)|^3) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

利用不等式 $a^2b \leq \frac{1}{3}(2a^3 + b^3)$ (注: 该不等式由 $3abc \leq a^3 + b^3 + c^3 (a, b, c \geq 0)$ 令 $a = c$ 而得到的) 与 (H_2) 来估计 (6) 式的右端, 得

$$\begin{aligned}
D^+V_1 &\leq \sum_{i=1}^n \left[-|y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \mu_j \left(\frac{2}{3} |y_i(t)|^3 + \frac{1}{3} |y_j(t)|^3 \right) \right. \\
&\quad \left. + \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j \left(\frac{2}{3} |y_i(t)|^3 + \frac{1}{3} |y_j(t - \tau_j)|^3 \right) + \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j (|y_j(t)|^3 - |y_j(t - \tau_j)|^3) \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[-|y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n |a_{ij}| \mu_j \left(\frac{2}{3} |y_i(t)|^3 + \frac{1}{3} |y_j(t)|^3 \right) + \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \mu_j \left(\frac{2}{3} |y_i(t)|^3 + \frac{1}{3} |y_j(t)|^3 \right) \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[-|y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n \frac{2}{3} |a_{ij}| \mu_j |y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n \frac{1}{3} |a_{ji}| \mu_i |y_i(t)|^3 \right. \\
&\quad \left. + \sum_{j=1}^n \frac{2}{3} |b_{ij}| \mu_j |y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n \frac{1}{3} |b_{ji}| \mu_i |y_i(t)|^3 \right] \\
&= \sum_{i=1}^n \left[- \left(1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{2}{3} |a_{ij}| \mu_j + \frac{1}{3} |a_{ji}| \mu_i \right) - \sum_{j=1}^n \left(\frac{2}{3} |b_{ij}| \mu_j + \frac{1}{3} |b_{ji}| \mu_i \right) \right) |y_i(t)|^3 \right] \\
&\leq -r_1 \sum_{i=1}^n |y_i(t)|^3,
\end{aligned} \tag{7}$$

其中 $r_1 = \min_{1 \leq i \leq n} [1 - \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n (2\mu_j (|a_{ij}| + |b_{ij}|) + \mu_i (|a_{ji}| + |b_{ji}|))] > 0$. 由 (7) 式, 我们有

$$V_1(y)(t) + r_1 \int_0^t \sum_{i=1}^n |y_i(s)|^3 ds \leq V_1(y)(0). \tag{8}$$

从而

$$\int_0^{+\infty} \sum_{i=1}^n |y_i(t)|^3 dt < +\infty. \tag{9}$$

由引理 2 知 $x_i(t)$ 在 $[0, +\infty)$ 上有界, 于是可推出 $y_i(t)$, $y_i'(t)$ 在 $(0, +\infty)$ 上有界, 故 $|y_i(t)|$, $|y_i(t)|^3$ 在 $(0, +\infty)$ 上一致连续, 从而 $\sum_{i=1}^n |y_i(t)|^3$ 在 $(0, +\infty)$ 上也一致连续, 于是由 Barbalat 引理^[12] 知

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \sum_{i=1}^n |y_i(t)|^3 = 0. \tag{10}$$

由 (10) 式知, 对任意时延, (4) 式的零解是全局渐近稳定的, 因而 DCNN(1) 式的平衡点也是全局渐近稳定的.

(b) 如果条件 (2) 或 (3) 满足, 考虑 Lyapunov 泛函:

$$V_2(t) = V_2(y)(t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n (|y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n |b_{ij}| \int_{t-\tau_j}^t |y_i(s)|^3 ds). \tag{11}$$

沿 (4) 式的解计算 V_2 的上右 Dini 导数, 仿 (a) 的估计和技巧, 可得

$$\begin{aligned}
D^+V_2 &\leq \sum_{i=1}^n [|y_i(t)|^2(-|y_i(t)| + \sum_{j=1}^n |a_{ij}|\mu_j|y_j(t)| + \sum_{j=1}^n |b_{ij}|\mu_j|y_j(t-\tau_j)|)] \\
&\quad + \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n |b_{ij}(|y_j(t)|^3 - |y_j(t-\tau_j)|^3)] \\
&= \sum_{i=1}^n (-|y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n |a_{ij}|\mu_j|y_i(t)|^2|y_j(t)| + \sum_{j=1}^n |b_{ij}|\mu_j|y_i(t)|^2|y_j(t-\tau_j)|) \\
&\quad + \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n |b_{ij}(|y_j(t)|^3 - |y_j(t-\tau_j)|^3)]. \tag{12}
\end{aligned}$$

注意到 $\mu_j|y_i(t)|^2|y_j(t-\tau_j)| \leq \frac{1}{3}[2\mu_j^{3/2}|y_i(t)|^3 + |y_j(t-\tau_j)|^3]$, $\mu_j|y_i(t)|^2|y_j(t)| \leq \frac{1}{3}[2\mu_j^{3/2}|y_i(t)|^3 + |y_j(t)|^3]$, $|y_i(t)|^2|y_j(t)| \leq \frac{1}{3}[2|y_i(t)|^3 + |y_j(t)|^3]$, 与 (H_2) 来估计 (12) 式的右端, 得

$$D^+V_2 \leq -r_2 \sum_{i=1}^n |y_i(t)|^3 \tag{13}$$

或

$$D^+V_2 \leq -r'_2 \sum_{i=1}^n |y_i(t)|^3, \tag{14}$$

其中 $r_2 = \min_{1 \leq i \leq n} [1 - \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n (2\mu_j^{3/2}(|a_{ij}| + |b_{ij}|) + (|a_{ji}| + |b_{ji}|)))] > 0$, $r'_2 = \min_{1 \leq i \leq n} [1 - \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n (2\mu_j|a_{ij}| + 2\mu_j^{3/2}|b_{ij}| + \mu_i|a_{ji}| + |b_{ji}|)] > 0$,

于是由 (11) 式和 (13) 式或 (11) 式和 (14) 式仿 (a) 可证明本定理结论成立.

(c) 如果条件 (4) 满足, 考虑 Lyapunov 泛函:

$$V_3(t) = V_3(y)(t) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n (|y_i(t)|^3 + \sum_{j=1}^n |b_{ij}|\mu_j^3 \int_{t-\tau_j}^t |y_j(s)|^3 ds). \tag{15}$$

沿 (4) 式的解计算 V_3 的上右 Dini 导数, 仿 (a) 的估计和技巧, 可得

$$D^+V_3 \leq -r_3 \sum_{i=1}^n |y_i(t)|^3, \tag{16}$$

其中 $r_3 = \min_{1 \leq i \leq n} [1 - \frac{1}{3} \sum_{j=1}^n (2(|a_{ij}| + |b_{ij}|) + \mu_i^3(|a_{ji}| + |b_{ji}|)))] > 0$. 于是由 (15) 式和 (16) 式, 仿 (a) 也可证明本定理结论成立. 综上所述, 即只要条件 (1)-(4) 之一成立, 则 DCNN(1) 式的平衡点就是全局渐近稳定的, 且与时延无关. 证毕

注记 2 通过与文献 [7-9] 的主要结果比较, 容易发现, 当 $\mu_j \equiv 1$, $a_{ij} = a_{ji}$, $b_{ij} = b_{ji}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 时, 我们的结果与文献 [7-9] 的主要结果是等价的; 其它情况是互不包含的, 我们可通过下面的例子加以说明: 取 $n = 2$, $f_i(x) = \frac{1}{2}(|x+1| - |x-1|)$, 显然 f_i 满足 $(H_1), (H_2)$, 且此时 $\mu_i \equiv 1$ ($i = 1, 2$).

例 1 当 $a_{11} = b_{11} = a_{22} = b_{22} = 0.25$, $a_{12} = b_{12} = 0.3$, $a_{21} = b_{21} = 0.15$ 时, 容易验证, DCNN 满足文献 [7,8] 主要定理的条件, 而不满足本文定理的条件。

例 2 容易验证, 当 $a_{11} = b_{11} = 0.25$, $a_{22} = b_{22} = 0.15$, $a_{12} = b_{12} = 0.2$, $a_{21} = b_{21} = 0.3$ 时, DCNN 满足本文定理与文献 [9] 的条件, 而不满足文献 [7] 定理的条件与文献 [8] 的定理 1 的条件。

由此可见, 本文的结果与文献 [7-9] 的结果互为补充且不能互相代替的。

3 结 束 语

本文首先采用不等式 $a^2b \leq (2a^3 + b^3)/3$ ($a, b, \geq 0$) 新技巧对 DCNN(1) 式的全局稳定性问题进行了再分析, 得到了一系列新的结果, 我们的结果与文献 [6-9] 及相关文献的结果是互为补充且不能互相代替的, 另外本定理不但保证了 DCNN(1) 式的全局渐近稳定性 (且与时延无关), 而且也可作为网络综合的准则或判据, 并对连接权值矩阵 $(a_{ij})_{n \times n}$ 与 $(b_{ij})_{n \times n}$ 未作任何对称要求, 同时对神经元的输出 $f_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 只要求具有性质 (H_1) , (H_2) (实际上文献 [6] 只讨论 DCNN(1) 式当 $f_j(x) \equiv f(x) = (|x+1| - |x-1|)/2$ 的特殊情形), 因而有更宽的适应范围和调整余地, 且结果易于检验, 利用它们可设计出各种无条件全局稳定的 DCNN, 这在某些应用领域例如全局最优化问题有着重要意义。

参 考 文 献

- [1] Chua L O, Yang L. Cellular neural networks: Theory. IEEE Trans., 1988, CAS-35(10): 1257-1272.
- [2] Chua L O, Yang L. Cellular neural networks: Applications. IEEE Trans., 1988, CAS-35(10): 1273-1290.
- [3] Roska T, Chua L O. Cellular neural networks with nonlinear and delay-type template. Int. J. Circuit Theory Appl., 1992, 20: 469-481.
- [4] 廖晓昕. 细胞神经网络的数学理论 (II). 中国科学, 1994, 24 (10): 1037-1046.
- [5] Civalieri P P, Gilli M. On stability of cellular neural networks with delay. IEEE Trans. on CAS, 1993, CAS-40(3): 157-165.
- [6] 卢宏涛, 何振亚. 带时延的细胞神经网络的无条件稳定性. 电子学报, 1997, 25(1): 1-4.
- [7] Cao Jinde, Zhou Dongming. Stability analysis of delayed cellular neural networks. Neural Networks, 1998, 11(9): 1601-1605.
- [8] Cao Jinde. Global stability analysis in delayed cellular neural networks. Phys. Rev. E, 1999, 59(5): 5940-5944.
- [9] Cao Jinde. Global stability in delayed cellular neural networks. Neural Networks for Signal Processing IX-Proceedings of the 1999 IEEE Workshop, IEEE, Wisconsin: 1999.
- [10] Cao Jinde. Periodic solutions and exponential stability in delayed cellular neural networks. Phys. Rev. E, 1999, 60(3): 3244-3248.
- [11] Hale J K. Theory of Functional Differential Equations. New York: Springer, 1997.
- [12] Gopalsamy K. Stability and Oscillation in Delay Differential Equations of Population Dynamics. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands: 1992, 45.

GLOBAL ASYMPTOTIC STABILITY ANALYSIS OF
DELAYED CELLULAR NEURAL NETWORKS

Cao Jinde

(Adult Education College, Yunnan University, Kunming 650091)

Abstract This paper analyses further global asymptotic stability of a class of delayed cellular neural networks by means of Lyapunov functional method and new inequality $a^2b \leq (2a^3 + b^3)/3$, ($a, b \geq 0$) analysis technique, and some new sufficient criteria are obtained. These criteria are of theoretical and applicable important significance in the design of globally stable networks.

Key words Delayed cellular neural networks (DCNN), Lyapunov functional, Inequality, Global asymptotic stability

曹进德: 男, 1963 年生, 教授, 博士, IEEE 会员. 目前主要研究兴趣集中在非线性系统理论、神经网络与智能信息处理等. 先后主持或参加国家自然科学基金项目和云南省自然科学基金项目十项, 1995 年和 1993 年分别获云南省高校科技成果一等奖和三等奖各一项, 1996 和 1997 年获云南省自然科学奖二等奖各一项, 已在国内外重要刊物上发表论文 60 余篇, 现为云南省确定的跨世纪学术技术带头人.

(上接第 204 页)

行专家通信评议进行认真讨论, 以无记名投票方式决定建议资助的申请项目, 最后经委务会审定资助对象. 在委务会审定资助的自由申请项目中, 其中 2 项是在前期基金项目成果基础上, 向应用基础研究延伸的具有极强应用前景的探索项目, 该类项目资助强度约为面上项目的 3 倍; 另外有 3 项属于同行通讯评议意见中对项目创新程度有争议的项目. 很遗憾的是某单位的项目申请人在 1999 年 10 月移居国外, 其资助项目按规定被撤销. 这一现象值得注意.

1999 年度资助面上项目 100 项, 比 98 年度增加一项; 平均资助强度约为 13 万元, 资助比例约为 19.7%.

在 2000 年度项目申报中, 本学科鼓励在信息理论与信息系统、电磁场与微波技术、电子器件与材料等各分支学科, 以及与信息化、数字化、网络化相关的基础方面, 进行创新性理论和技术的研究, 并鼓励与生物医学等科学领域交叉的有本学科特色的创新性研究. 支持重要前沿技术和研究方向, 如超高速(超宽带)、能实现多媒体传输的下一代通信系统、智能天线、软件无线电和系统集成以及新的量子通信理论与技术等研究. 2000 年度电子学与信息系统学科受理下列领域的重点项目申请: 高气压下强电场电离气体的方法及其应用的基础研究(拟资助金额: 110 万元).

有关 1999 年度项目资助情况, 请参看《电子科学学刊》第 22 卷第 2 期第 350 页.