

机上的时间复杂度很大. FCNN 作为一种并行模拟网络,以其强大的模拟逻辑(analogic)<sup>[2,6]</sup>编程能力,为实现形态学实时图像处理提供了新的范例.

碑刻是历史上保存中国书法艺术的主要途径.但是经过数百年的风化腐蚀,碑刻在不同程度上遭到破坏,碑帖上的字迹往往是模糊的,而且伴有大量的腐蚀噪声.利用 FCNN 形态学重构来恢复碑刻原貌,不仅对于保存和研究我国书法艺术具有重要的意义,也为其在图像处理领域的应用作出了实例.

本文基于一种加性 FCNN 结构,采用形态学灰度重构和二值重构算法来进行碑帖噪声抑制和汉字提取.

## 2 数学形态学 FCNN 实现的基本理论

Yang 等人所提出的加性 FCNN 可用来实现全部的形态学运算<sup>[5]</sup>.具体地说,采用一单层  $M \times N$  加性 FCNN 结构,其中网络由  $M$  行  $N$  列细胞(Cell)组成,每个细胞的动力学方程为:

单层加性 FCNN 细胞状态方程

$$\begin{aligned} C \frac{dx_{ij}}{dt} = & -\frac{1}{R_x} x_{ij} + \sum_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (A(i,j;k,l) y_{kl}) + \sum_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (B(i,j;k,l) u_{kl}) + I_{ij} \\ & + \tilde{\wedge}_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (A_{fmin}(i,j;k,l) + y_{kl}) + \tilde{\vee}_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (A_{fmin}(i,j;k,l) + y_{kl}) \\ & + \tilde{\wedge}_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (B_{fmin}(i,j;k,l) + u_{kl}) + \tilde{\vee}_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (B_{fmin}(i,j;k,l) + u_{kl}) \end{aligned} \quad (1)$$

输入方程

$$u_{ij} = E_{ij} \quad (2)$$

输出方程

$$y_{ij}(t) = f(x_{ij}(t)) = \frac{1}{2} (|x_{ij}(t) + 1| - |x_{ij}(t) - 1|) \quad (3)$$

这里符号“ $\tilde{\wedge}$ ”、“ $\tilde{\vee}$ ”表示模糊“与”(min)、“或”(max)运算,变量  $x, y, u$  都是电压信号.加性是指模糊权与输入或输出信号之间的加法连接.网络连接拓扑结构通常由矩形  $r$ -邻域所决定,即  $N_r(i,j) = \{C_{kl} | \max(|k-i|, |l-j|) \leq r, 1 \leq k \leq M; 1 \leq l \leq N\}$ .对于边缘细胞,可以将  $C_{ij}$  与  $C_{Mj}$  连接,  $C_{il}$  与  $C_{iN}$  连接.这样,FCNN 便形成了一封闭流形,其细胞是空间不变的.因此 FCNN 的控制参数组为模板(templates):  $\{A, B, A_{fmin}, A_{fmax}, B_{fmin}, B_{fmax}, C, R_x, I_{ij} = I\}$ .控制前 6 个参数是 FCNN 模拟逻辑编程的主要途径,而  $C$  和  $R_x$  则用来决定动态响应时间常数  $\tau_{FCNN}$ ,在本文形态学算法实现中恒有  $R_x = 1$ .当  $I_{ij}$  不是空间不变量(常量  $I$ )时,常与初始状态  $x_{ij}^0$ 、细胞输入  $u_{ij}$  表示图像像素值,可以构成 3 个 FCNN 输入,为其图像处理编程提供了更灵活的方式. FCNN 的输出范围是闭区间  $[-1, 1]$ ,可用来表示二值图像值( $\{-1, 1\}$ )和灰度图像值(区间  $[0, 1]$ ).图 1 是一 4

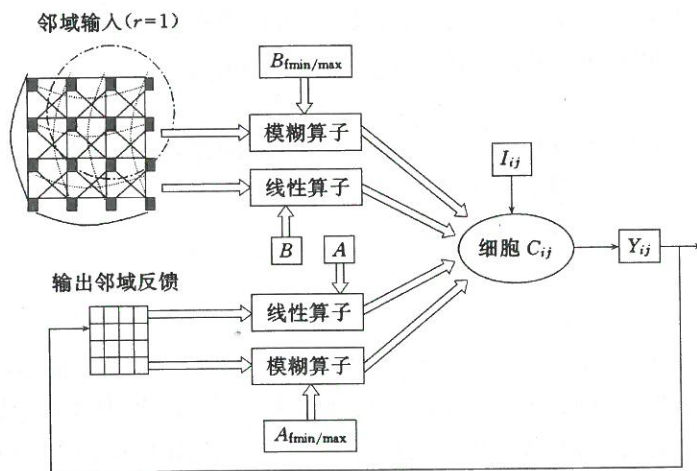


图 1 FCNN 结构示意图