

$$\begin{aligned}
& + \bigwedge_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (B_{fmin}(i,j;k,l) + u_{kl}) \\
& + \bigvee_{C_{kl} \in N_r(i,j)} (B_{fmax}(i,j;k,l) + u_{kl}) \quad (1)
\end{aligned}$$

输入方程

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

输出方程

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

其控制参数组为 $\{A, B, A_{fmin}, A_{fmax}, B_{fmin}, B_{fmax}, C, R_x, I_{ij} = I\}$.

FCNN 模拟逻辑编程的主要途径是控制前 6 个参数,即模板(Templates) $\{A, B, A_{fmin}, A_{fmax}, B_{fmin}, B_{fmax}\}$. 当 I_{ij} 是常量 I 时,可作为模板之一; I_{ij} 若是空间变量时,可与初始状态 x_{ij}^0 , 细胞输入 u_{ij} 表示像素值,构成 3 个输入,为 FCNN 图像处理编程提供了更灵活的方式.

FCNN 细胞的静态输出范围是闭区间 $[-1, 1]$, 因此这里用 $\{-1, 1\}$ 表示二值象值,灰度象值取区间 $[0, 1]$,彩色像素取空间 $[0, 1]^3$,其中向量 $[1, 1, 1]$ 表示“白”,向量 $[0, 0, 0]$ 表示“黑”.

彩色形态学 4 个基本算子的定义可由灰度情形^[5]推广如下:设结构元为 S ,输入图像为 X ,输出图像为 Y ,为简洁起见,用符号“*”表示可同时取 R, G

或 B 脚标,于是腐蚀算子和膨胀算子的定义及其 FCNN 实现的参数模板表示如下:

腐蚀算子:

$$Y = X \ominus S := \begin{cases} [y_R(i,j), y_G(i,j), y_B(i,j)]: \\ y_*(i,j) = \min(x_*(i+k, j+l) - s_*(k,l)), (k,l) \in S_* \end{cases} \quad (4)$$

$\{A^* = 0, B^* = 0, A_{fmin}^* = \text{未定义}, A_{fmax}^* = \text{未定义}, B_{fmin}^* = -S_*, B_{fmax}^* = \text{未定义}, R_x = 1, I = 0, u_* = X_*, x_0^* = \text{任意}, y_* = Y_*\}$;

膨胀算子:

$$Y = X \oplus S := \begin{cases} [y_R(i,j), y_G(i,j), y_B(i,j)]: \\ y_*(i,j) = \max(x_*(i+k, j+l) + s_*(-k, -l)), (k,l) \in S_* \end{cases} \quad (5)$$

$\{A^* = 0, B^* = 0, A_{fmin}^* = \text{未定义}, A_{fmax}^* = \text{未定义}, B_{fmin}^* = \text{未定义}, B_{fmax}^* = S_{*D}, R_x = 1, I = 0, u_* = X_*, x_0^* = \text{任意}, y_* = Y_*\}$;

这里 S_{*D} 是 S_* 的中心对称变换. 开算子和闭算子可由下述复合算子得到:

$$\text{开算子: } X \circ S = (X \ominus S) \oplus S \quad (6)$$

$$\text{闭算子: } X \cdot S = (X \oplus S) \ominus S \quad (7)$$

图 2 是彩色图像的基本形态学算子. (a) 是原图; (b) — (e) 依次为腐蚀算子、膨胀算子、开算子、闭算子.



图 2 RGB 分量法彩色形态学基本算子

FCNN 的实时编程特点是其优于传统串行计算机的主要方面. 在一般的串行数字计算机上,每个基