

关于彩色图象处理的形态学算子研究

蒋刚毅 郑义 郁梅 陈燕华

(汕头大学人工智能与模式识别研究所, 汕头 515063)

摘要 彩色形态变换是数学形态学从灰度图象到彩色图象的推广. 基于 RGB(red-green-blue) 彩色坐标系统, 提出了彩色形态变换的理论, 并讨论了它们的性质, 进而建立了彩色形态变换与灰度形态学的联系. 彩色形态变换作为一种数学形态学方法在彩色空间的延拓, 可有效地应用于彩色图象处理、图象编码和目标形状特征提取等.

关键词 数学形态学 彩色形态变换 彩色图象处理

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2000)04-0293-07

A Study on Morphological Operators for Color Image Processing

JIANG Gang-yi, ZHENG Yi, YU Mei, CHEN Yan-hua

(Institute of Artificial Intelligence and Pattern Recognition, Shantou University, Shantou 515063)

Abstract In this paper, a theory of color-scale morphology is proposed, which is an evolution of mathematical morphology from gray-scale image to color image. Based on RGB(red-green-blue) coordinate system, some color-scale morphological operators are presented, and their properties are discussed. The relationships between color-scale morphology and gray-scale morphology are established. Using the basic color-scale morphological operations, the other composite color-scale morphological transforms, such as color-scale opening, closing, iterative morphological filters, color-scale morphological gradient and color-scale top-hat transform etc., can be constructed. Some experimental results are given. As an extension of mathematical morphology to color space, the transformation can be directly and efficiently used to process color image, encode image and extract shape features of objects.

Keywords Mathematical morphology, Color-scale morphological transformation, Color image processing

0 引言

在过去十几年里, 形态图象处理方法已成为数字图象信号处理和计算机视觉领域中的一种有效方法^[1,2], 它适用于各种图象处理与分析工作, 诸如噪声抑制、图象增强、图象编码、特征提取、纹理分析和形状识别等等.

由 Matheron 和 Serra 提出的数学形态学, 以集合论、积分几何学、立体学和几何概率论为基础^[3,4]. 最初, 数学形态学研究以二值图象为对象, 称为二值形态学; 以后, Serra^[4] 和 Sternberg^[5] 等借助于伞理论, 把二值形态学扩展到了灰度图象处理, 称为灰度

形态学, 并应用最大最小运算将二值形态算子(诸如形态膨胀、形态腐蚀、形态开与形态闭)推广到了灰度图象, 因而使灰度形态学的理论和应用研究也得到很大和进一步的发展^[6-10].

彩色是一种人眼对不同波长可见电磁波作出反应的感知现象, 与灰度图象相比, 彩色图象能提供更丰富的信息. 彩色图象处理在众多领域中有广泛的应用, 但在以往的形态处理研究中, 主要局限于二值形态学和灰度形态学. 虽然人们已提出了某些应用于彩色图象处理的数学形态学方法, 但它们只是基于灰度形态学的理论^[11,12], 难以直接对彩色图象进行有效的处理. 已有的研究表明, 对于彩色图象, 采用描述彩色各分量间联系的矢量方法来处理彩色象素, 比分别处理各彩色

分量的方式更有效、更合理^[13].

本文将数学形态学扩展到彩色图象,称为彩色数学形态学,或简称彩色形态学,同时基于 RGB 彩色空间,提出了采用平面结构元素的彩色形态变换方法,并讨论了主要彩色形态算子的性质,建立了彩色形态变换与灰度形态学的联系.

1 二值形态学与灰度形态学

以往的数学形态学研究主要分为两类,即应用于二值图象的二值形态学和应用于灰度图象的灰度形态学.若 Y 表示有界的二值图象, P 为给定的有限二值模板,称为结构元素,且 $Y \subset Z^2, P \subset Z^2$, 则 Y 关于 P 的主要二值形态变换定义如下:

二值形态膨胀、腐蚀

$$\begin{aligned} Y \oplus_b P &= \{a; Y \cap \overline{P_a} \neq \emptyset\}; \\ Y \ominus_b P &= \{a; P_a \subseteq Y\} \end{aligned} \quad (1a)$$

二值形态开、形态闭

$$\begin{aligned} Y \circ_b P &= Y \ominus_b P \oplus_b P; \\ Y \bullet_b P &= Y \oplus_b P \ominus_b P \end{aligned} \quad (1b)$$

其中, P_a 表示 P 位移 $a, P_a = \{p + a; p \in P\}, \overline{P} = \{-p; p \in P\}$. \circ_b 及 \bullet_b 分别表示二值形态开、闭变换; \oplus_b, \ominus_b 分别代表二值形态膨胀及腐蚀变换符号.二值形态膨胀与二值形态腐蚀是最基本的形态变换,由其还能构成复杂的形态变换,如形态骨架提取、细化、形态谱、二值形态开-闭、二值形态闭-开等等.

设 $f(x)$ 为灰度图象的灰度函数, $s(x)$ 为结构元素, $f(x) \in R, s(x) \in R, x \in Z^2, D_f$ 和 D_s 分别为 $f(x)$ 和 $s(x)$ 的定义域,则 $f(x)$ 关于 $s(x)$ 的主要灰度形态变换定义如下:

灰度形态膨胀、腐蚀

$$\begin{aligned} f \oplus_g s &= \max\{f(x(u) + s(u)); \\ &u \in D_s, (x(u) \in D_f)\}; \\ f \ominus_g s &= \min\{f(x + u) - s(u); \\ &u \in D_s, (x + u) \in D_f\} \end{aligned} \quad (2a)$$

灰度形态开、形态闭

$$f \circ_g s = f \ominus_g s \oplus_g s; f \bullet_g s = f \oplus_g s \ominus_g s \quad (2b)$$

灰度形态变换也可由伞(Umbra)变换来定义.灰度图象 $f(x)$ 的伞变换 $U(f(x))$ 可表示为 $U(f(x)) = \{(x, t) \in Z^2; f(x) \geq t\}$, 其逆变换 $T(U(f))$ 定义为 $f(x) = \max\{t \in Z; (x, t) \in U(f(x))\}$. 于是灰度形态膨胀和与形态腐蚀可分别

表示为 $f \oplus_g s = T(U(f) \oplus_b U(s))$ 和 $f \ominus_g s = T(U(f) \ominus_b U(s))$. \oplus_g, \ominus_g 分别代表灰度形态膨胀及腐蚀变换符号.

2 彩色形态变换

2.1 关于平面结构元素的彩色形态变换

定义1 设 $V(x)$ 为 RGB 空间的彩色图象, $V(x) = (R(x), G(x), B(x)), R(x) \geq 0, G(x) \geq 0, B(x) \geq 0, V(x) \in Z^3$, 且 $x \in D_V, D_V$ 是 $V(x)$ 的定义域, $D_V \subset Z^2$. Z 是整数集合, Z 是大于等于 0 的整数的集合. 设 P 为平面结构元素, $P \subset Z^2$. 直观地, $V(x)$ 关于 P 的彩色形态膨胀 $V \oplus_c P$ 与彩色形态腐蚀 $V \ominus_c P$ 定义如下:

$$\begin{aligned} V \oplus_c P &= \{V(a); a = \operatorname{argmax}\{\|V(x - y)\|; \\ &(x - y) \in D_V, y \in P\}\} \end{aligned} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} V \ominus_c P &= \{V(a); a = \operatorname{argmin}\{\|V(x + y)\|; \\ &(x + y) \in D_V, y \in P\}\} \end{aligned} \quad (3b)$$

式中, $\|\bullet\|$ 表示一个合适的矢量范数. \oplus_c, \ominus_c 分别代表彩色形态膨胀及腐蚀变换符号, 采用不同的矢量范数导致两个重要的结果: 一是计算速度上的变化, 二是产生不同的变换结果. 常用的矢量范数有 L_1 和 L_2 , 这里 L 表示 Lebesque 测度. 由于式 (3a)、(3b) 可能存在多值解, 导致了定义 1 的模糊性. 为了解决这一问题, 提出了彩色形态膨胀与彩色形态腐蚀的精确定义.

定义2 W 是加权矩阵, $W = \begin{bmatrix} w_{1R} & w_{1G} & w_{1B} \\ w_{2R} & w_{2G} & w_{2B} \\ w_{3R} & w_{3G} & w_{3B} \end{bmatrix}$,

$$\det(f(W)) = \begin{vmatrix} f(w_{1R}) & f(w_{1G}) & f(w_{1B}) \\ f(w_{2R}) & f(w_{2G}) & f(w_{2B}) \\ f(w_{3R}) & f(w_{3G}) & f(w_{3B}) \end{vmatrix} \neq 0, \text{ 且}$$

满足:

(1) W 的所有元素是正的,

(2) $f(w_{kR}) + f(w_{kG}) + f(w_{kB}) = 3, k = 1, 2, 3$.

其中, $f(w_{ij})$ 是与矢量范数有关的函数. 若用矢量范数 L_1 , 则 $f(w_{ij}) = w_{ij}$; 如果用 L_2 时, 则有 $f(w_{ij}) = w_{ij}^2$. $V_1(x) = (w_{1R}R(x), w_{1G}G(x), w_{1B}B(x))$, $V_2(x) = (w_{2R}R(x), w_{2G}G(x), w_{2B}B(x))$, 和 $V_3(x) = (w_{3R}R(x), w_{3G}G(x), w_{3B}B(x))$ 称为彩色加权矢量.

定义3 \min 和 \max 为彩色矢量 $\{V(x); x \in X, X \subseteq D_V\}$ 在某一矢量范数下的矢量最小运算和最大

运算, 即

(1) 如果 $\{ \|V_1(x)\|, x \in X \}$ 只有一个最小值 (或最大值), 则

$$\begin{aligned} \min\{V(x); x \in X\} &= V(a), \\ a &= \arg \min\{ \|V_1(x)\|; x \in X \} \end{aligned} \quad (4a)$$

$$\begin{aligned} \max\{V(x); x \in X\} &= V(b), \\ b &= \arg \max\{ \|V_1(x)\|; x \in X \} \end{aligned} \quad (5a)$$

(2) 如果 $\{ \|V_1(x)\|, x \in X \}$ 存在 m 个最小值 (或最大值), $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}$, 这些点组成一个集合 $X_1, X_1 \subseteq X$. 且 $\{ \|V_2(x)\|, x \in X_1 \}$ 只有一个最小值 (或最大值), 则

$$\begin{aligned} \min\{V(x); x \in X\} &= V(a), \\ a &= \arg \min\{ \|V_2(x)\|; x \in X_1 \} \end{aligned} \quad (4b)$$

$$\begin{aligned} \max\{V(x); x \in X\} &= V(b), \\ b &= \arg \max\{ \|V_2(x)\|; x \in X_1 \} \end{aligned} \quad (5b)$$

(3) 如果不仅 $\{ \|V_1(x)\|, x \in X \}$ 存在 m 个最小值 (或最大值), 而且 $\{ \|V_2(x)\|, x \in X_1 \}$ 也有 M 个最小值 (或最大值), 该 M 个最小值 (或最大值) 分别位于点 $x_{N1}, x_{N2}, \dots, x_{NM}$, 这些点只组成一个集合 X_2 , 且 $X_2 \subseteq X_1 \subseteq X$, 则

$$\begin{aligned} \min\{V(x); x \in X\} &= V(a), \\ a &= \arg \min\{ \|V_3(x)\|; x \in X_2 \} \end{aligned} \quad (4c)$$

$$\begin{aligned} \max\{V(x); x \in X\} &= V(b), \\ b &= \arg \max\{ \|V_3(x)\|; x \in X_2 \} \end{aligned} \quad (5c)$$

若 $\text{Card}()$ 表示集合的势, 则 $\text{Card}(X_2) \leq \text{Card}(X_1) \leq \text{Card}(X)$, 且 $\text{Card}(X_2) = M, \text{Card}(X_1) = m$.

定义 4 $V(x)$ 关于 P 的彩色形态膨胀 $V \oplus_c P$ 与彩色形态腐蚀 $V \ominus_c P$ 的修正定义为:

$$V \oplus_c P = \max\{V(x-y); (x-y) \in D_V, y \in P\} \quad (6a)$$

$$V \ominus_c P = \min\{V(x+y); (x+y) \in D_V, y \in P\} \quad (6b)$$

显然, 由于行列式 $\det(f(W))$ 不等于 0, 故定义 1 必须修正, 修正后的定义消除了式 (3a) 和 (3b) 中的模糊性. 为了与式 (3a) 和 (3b) 相对应, 定义 4 中的 w_{1R}, w_{1G} 和 w_{1B} 取值为 1.

以下对 \min 与 \max 和 $V \oplus_c P$ 与 $V \ominus_c P$ 的一些性质进行讨论.

性质 1 若定义 3 中的 $X_1 \neq \emptyset$ 和 $X_2 \neq \emptyset$, 且 $X_2 \subseteq X_1 \subseteq X$, 则

在 $\{ \|V_1(x)\|, x \in X \}$ 中存在 m ($m = \text{Card}(X_1)$) 个相同的最小值或最大值,

在 $\{ \|V_2(x)\|, x \in X_1 \}$ 中, 存在 M ($M = \text{Card}(X_2)$) 个相同的最小值或最大值.

进一步, 若在 $\{ \|V_2(x)\|, x \in X_3 \}$ 中, 存在 K 个相同的最小值或最大值, 它们分别位于点 $x_{D1}, x_{D2}, \dots, x_{DK}$, 这些点又组成一个集合 X_3 , 且 $X_3 \subseteq X_2 \subseteq X_1 \subseteq X, K = \text{Card}(X_3)$. 则这 K 个彩色矢量是完全相同的.

性质 2 若定义 3 中的 $X_1 \neq \emptyset, X_1 \subseteq X \subseteq D_V, x_1 \in X_1, w_{1R}, w_{1G}$ 和 w_{1B} 取值为 1, 则

$$\|V(x_1)\| = \|\min\{V(x); x \in X\}\| \quad (7a)$$

或

$$\|V(x_1)\| = \|\max\{V(x); x \in X\}\| \quad (7b)$$

性质 3 彩色图象 V 的 \min 和 \max 运算具有唯一性.

情况 1 若 $X_1 \neq \emptyset$, 表示对所有 $x \in X, \{ \|V_1(x)\| \}$ 有唯一的最小值或最大值.

情况 2 若 $X_1 \neq \emptyset, X_1 \subseteq X$, 且 $X_2 = \emptyset$, 表示对所有 $x \in X, \{ \|V_1(x)\| \}$ 有 m 个最小值或最大值, 但 $\{ \|V_2(x)\|; x \in X_1 \}$ 有唯一的最小值 (或最大值). 这里 $m = \text{Card}(X_1)$.

情况 3 若 $X_1 \neq \emptyset, X_2 \neq \emptyset, X_2 \subseteq X_1 \subseteq X$, 且 $X_3 = \emptyset$, 表明对所有 $x \in X, \{ \|V_1(x)\| \}$ 有 m 个最小值或最大值, $\{ \|V_2(x)\|; x \in X_1 \}$ 有 M 个最小值或最大值. 这里 $m = \text{Card}(X_1)$, 而 $M = \text{Card}(X_2)$. 但 $\{ \|V_3(x)\|; x \in X_2 \}$ 有唯一的最小值或最大值.

情况 4 若 $X_3 \neq \emptyset, X_3 \subseteq X_2 \subseteq X_1 \subseteq X$, 则 $\{V(x); x \in X_3\}$ 中所有的矢量是相同的.

性质 4 若 $w_{1R} = w_{1G} = w_{1B} = 1$, 则

$$\min\|V(x)\|; x \in X = \|\min\{V(x); x \in X\}\| \quad (8a)$$

$$\max\|V(x)\|; x \in X = \|\max\{V(x); x \in X\}\| \quad (8b)$$

性质 5 \min 和 \max 是在某一矢量范数下的递增运算, 即, 若 U 和 V 是两彩色图象, 且对所有的 $x \in X$ 有 $\|U(x)\| \geq \|V(x)\|$, 则

$$\|\min\{U(x); x \in X\}\| \geq \|\min\{V(x); x \in X\}\| \quad (9a)$$

$$\|\max\{U(x); x \in X\}\| \geq \|\max\{V(x); x \in X\}\| \quad (9b)$$

性质 6 \min 和 \max 是平移不变的.

若 $\zeta(V) = \min\{V(x); x \in X\}, \xi(V) = \max\{V(x); x \in X\}$, 位移量 $h \in Z^2, h+x \in X$, 则有

$$\zeta(V_h) = (\zeta(V))_h \text{ 和 } \xi(V_h) = (\xi(V))_h \quad (10)$$

性质 7 在 RGB 彩色空间的第一象限内, \min 和 \max 满足

$$\zeta(V_h+t) = (\xi(V))_{h+t} \text{ 和 } \xi(V_h) = (\xi(V))_{h+t} \quad (11)$$

其中, $h \in Z^2, h+x \in X, t \in Z^3$.

性质8 外延性与反外延性

$$\begin{aligned} \|\overline{\max\{V(x); x \in X\}}\| &\geq \|V(x)\| \geq \\ \|\overline{\min\{V(x); x \in X\}}\| &\end{aligned} \quad (12)$$

彩色形态膨胀 $V \oplus_c P$ 与彩色形态腐蚀 $V \ominus_c P$ 也满足平移不变性和递增性,并具有外延性与反外延性. 另外还有如下性质:

性质9

$$\begin{aligned} V \oplus_c P \oplus_c Q &= V \oplus_c (P \oplus_b Q); \\ V \ominus_c P \ominus_c Q &= V \ominus_c (P \oplus_b Q) \end{aligned} \quad (13)$$

式中, $Q, P \subset Z^2$.

性质10 若 $m \in Z$, 则

$$\begin{aligned} (mV) \oplus_c P &= m(V \oplus_c P) \quad \text{和} \\ (mV) \ominus_c P &= m(V \ominus_c P) \end{aligned} \quad (14)$$

性质11

$$U \|\overline{V \oplus_c P}\| = U \|\overline{V}\| \oplus_b P \quad (15a)$$

$$U \|\overline{V \ominus_c P}\| = U \|\overline{V}\| \ominus_b P \quad (15b)$$

$$U \|\overline{V \oplus_c P}\| \geq U \|\overline{V}\| \geq U \|\overline{V \ominus_c P}\| \quad (15c)$$

2.2 彩色形态滤波

定义5 利用彩色形态膨胀与彩色形态腐蚀,由 \circ_c 和 \bullet_c 表示的两个组合彩色形态变换分别定义如下:

$$V \circ_c P = V \ominus_c P \oplus_c P; V \bullet_c P = V \oplus_c P \ominus_c P \quad (16)$$

$V \circ_c P$ 和 $V \bullet_c P$ 还有如下一些性质:

性质12 外延性和反外延性

$$\begin{aligned} \|V \oplus_c P\| &\geq \|V \bullet_c P\| \geq \|V\| \geq \\ \|V \circ_c P\| &\geq \|V \ominus_c P\| \end{aligned} \quad (17)$$

性质13 $V \circ_c P$ 和 $V \bullet_c P$ 满足平移不变性和递增性.

性质14 等幂性

$$\begin{aligned} (V \circ_c P) \circ_c P &= V \circ_c P \quad \text{和} \\ (V \bullet_c P) \bullet_c P &= V \bullet_c P \end{aligned} \quad (18)$$

性质15 若 $m \in Z$, 则

$$\begin{aligned} (mV) \circ_c P &= m(V \circ_c P) \quad \text{和} \\ (mV) \bullet_c P &= m(V \bullet_c P) \end{aligned} \quad (19)$$

由于 $V \circ_c P$ 在某一矢量范数下也是递增的、等幂的和反外延的, 而 $V \bullet_c P$ 在某一矢量范数下是递增的、等幂的和外延的, 所以 $V \circ_c P$ 和 $V \bullet_c P$ 分别表示在某一矢量范数下的形态开与形态闭变换. 我们分别称之为彩色形态开与彩色形态闭. $V \circ_c P$ 和 $V \bullet_c P$ 是在 RGB 空间中最基本的彩色形态滤波器. 由它们能构成其他复杂的形态滤波器, 如彩色形态开-闭、彩色形态闭-开、彩色交替序列形态滤波器等.

定义6 彩色图象 V 关于结构元素 P 的彩色形态开-闭 $V \square_c P$ 、彩色形态闭-开 $V \blacksquare_c P$ 分别定义如下:

$(V \square_c P) = (V \circ_c P \bullet_c P); (V \blacksquare_c P) = (V \bullet_c P \circ_c P)$ (20)

同样, 彩色形态开-闭、彩色形态闭-开也具有递增性、等幂性等性质.

$\square_c, \blacksquare_c$ 分别代表彩色形态开-闭及彩色形态闭-开变换符号.

与灰度形态学类似, 彩色图象 V 关于结构元素 P 的彩色腐蚀差 $E(V, P)$ 、彩色梯度 $M(V, P)$ 和彩色 top-hat 变换 $H(V, P)$ 分别定义如下:

$$E(V, P) = V - (V \ominus_c P) \quad (21a)$$

$$M(V, P) = (V \oplus_c P) - (V \ominus_c P) \quad (21b)$$

$$H(V, P) = V - (V \circ_c P) \quad (21c)$$

式中的符号“-”表示矢量差. $E(V, P)$ 、 $M(V, P)$ 和 $H(V, P)$ 包含了彩色图象的彩色边缘信息.

2.3 彩色形态变换、二值形态变换、灰度形态变换间的联系

首先从统计分析的角度来看, 二值图象 Y 关于 P 的二值有序滤波器 $Y \otimes P$ 为^[14]

$$Y \otimes P = \lfloor a; \text{Card}(Y \cap P_a) \geq \text{Card}(P) - (\text{Card}(P) - 1)K \rfloor \quad (22)$$

式中, $K = 0, \frac{1}{\text{Card}(P) - 1}, \frac{2}{\text{Card}(P) - 1}, \dots, 1$. 很明显, 当 $K = 0$ 和 1 时, $Y \otimes P$ 分别等于 $Y \ominus_b P$ 和 $Y \oplus_b P$.

对于灰度形态学, 灰度形态膨胀与灰度形态腐蚀, 即 $f(x)$ 关于结构元素 P 的最大和最小运算, 是灰度有序滤波器的两个特例. 若 $f(x)$ 关于 P 的灰度有序滤波器表示如下^[15]:

$$R_{r,P}(f(x)) = \underset{\text{NINT}((N-1)r+1)}{\text{Rank}} \{f(x-y); y \in P_x\} \quad (23)$$

其中, $0 \leq r \leq 1$, $\text{NINT}()$ 表示取整运算, 式(23)为对 $f(x-y)$ 进行排序, 并取出其中序号为 $\text{NINT}((N-1)r+1)$ 的元素. 当 $r = 0$ 和 1 时, 则该运算分别为 $f \oplus_g P$ 和 $f \ominus_g P$.

同样, 彩色形态膨胀与彩色形态腐蚀也可作为一种矢量有序统计滤波的特例, 并且它们的计算费用要低于其它矢量有序统计滤波运算. 通常, 二值形态、灰度形态以及彩色形态的膨胀与腐蚀分别是对集合、标量函数以及在一定范数下的矢量函数的极限运算.

从变换的角度看, 二值形态变换、灰度形态变换以及彩色形态变换则分别是对集合、标量函数以及矢量函数的变换. 而且, 它们都具有平移不变性和递

增性. 二值形态开与二值形态闭、灰度形态开与灰度形态闭以及彩色形态开与彩色形态闭分别是二值图象、灰度图象以及彩色图象的最基本的形态滤波器. 当彩色图象退化为灰度图象时, 其彩色形态变换等价于灰度形态变换; 而如果灰度图象退化为二值图象时, 其灰度形态变换则等价于二值形态变换. 从这一意义来说, 彩色形态学是灰度形态学在矢量空间的推广和发展.

从几何上解释, 若选用 L_2 作为彩色形态变换的矢量范数, 而结构元素 P 是包含原点, 并具各向同性的平面集合, 则彩色图象 V 关于 P 在 $x(x \in D_V)$ 点的彩色形态膨胀与彩色形态腐蚀的范数是分别对应 RGB 彩色空间的最大和最小球面的半径, 且所有的 $\{V(x-y); y \in P_x\}$ 都位于两个球面之间. 如图 1(a) 所示, 图中 V^1 和 V^2 分别表示 V 关于 P 在 x 点的彩色形态膨胀与彩色形态腐蚀的结果, 且所有的 $\{V(x-y); y \in P_x\}$ 均位于以 $\|V_1\|$ 和 $\|V_2\|$ 为半径的球面之间. 若 V 退化为二维矢量函数, 则 V^1 和 V^2 构成两个极限同心圆, 如图 1(b) 所示, 所有的 $\{V(x-y); y \in P_x\}$ 位于两同心圆之间. 进一步, 若 V 退化为标量函数, 则 V^1 和 V^2 变成为标量轴上的两

个极限点, 所有的 $\{V(x-y); y \in P_x\}$ 均位于两极限点之间, 而此时彩色形态膨胀与彩色形态腐蚀也退化为灰度形态膨胀与灰度形态腐蚀, 如图 1(c) 示.

最后, 给出彩色形态变换的实例. 图 2 显示了彩色图象的彩色形态变换结果. 这里, 采用 L_2 作为矢量范数. 根据定义 2, 并考虑算子的唯一性, 加权矩阵 W 的元素可选为 $w_{1R} = w_{1G} = w_{1B} = 1, w_{2R} = \sqrt{1.01}, w_{2G} = 1, w_{2B} = \sqrt{0.99}, w_{3R} = \sqrt{1.01}, w_{3G} = \sqrt{0.99}$ 和 $w_{3B} = 1$. 图 2(a) 和图 2(b) 分别为原始彩色图象(图象尺寸为 $256 \times 256, 24\text{bit/象素}$) 和其受脉冲噪声干扰后的图象. 图 2(c) 和图 2(d) 分别为图 2(b) 关于 3×3 菱形结构元素的彩色形态开和彩色形态开-闭图象. 菱形结构元素具有各向同性的对称性质, 是数学形态学处理中典型的结构元素之一.

图 3 给出了图 2(a) 经彩色形态采样后得到的彩色多分辨率图象和相应的多分辨率的边缘图象. 图 3(a) 中包含 V^0, V^1, V^2 和 V^3 四个不同分辨率图象, 其中 V^0 对应于原图象(图 2(a)), V^0 经彩色形态开-闭后, 再经彩色形态采样得到 V^1 . 以同样方法可以得到 V^2 和 V^3 . 图 3(b) 是采用彩色形态腐蚀差提取的对应于各分辨率的边缘图象.

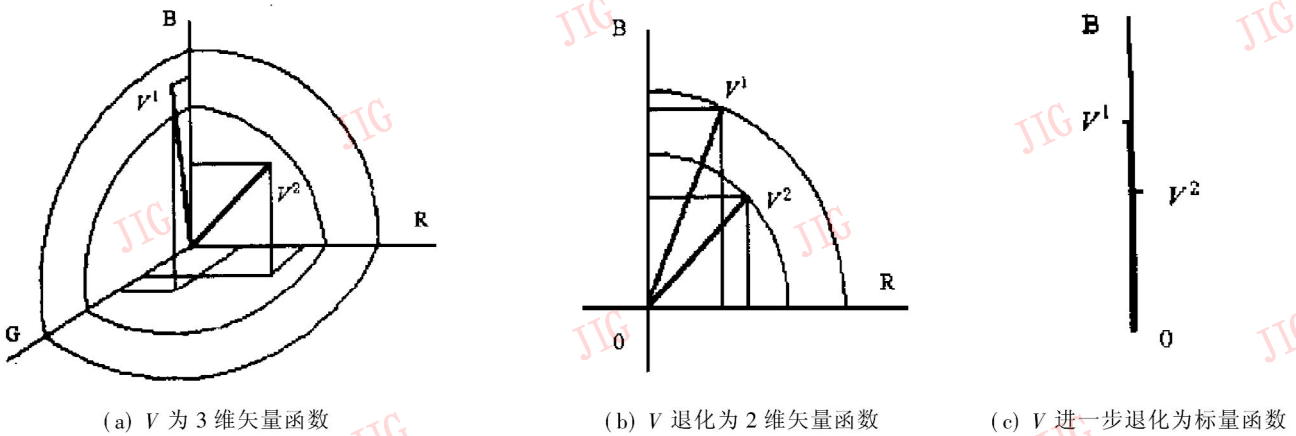


图 1 彩色形态变换的几何解释

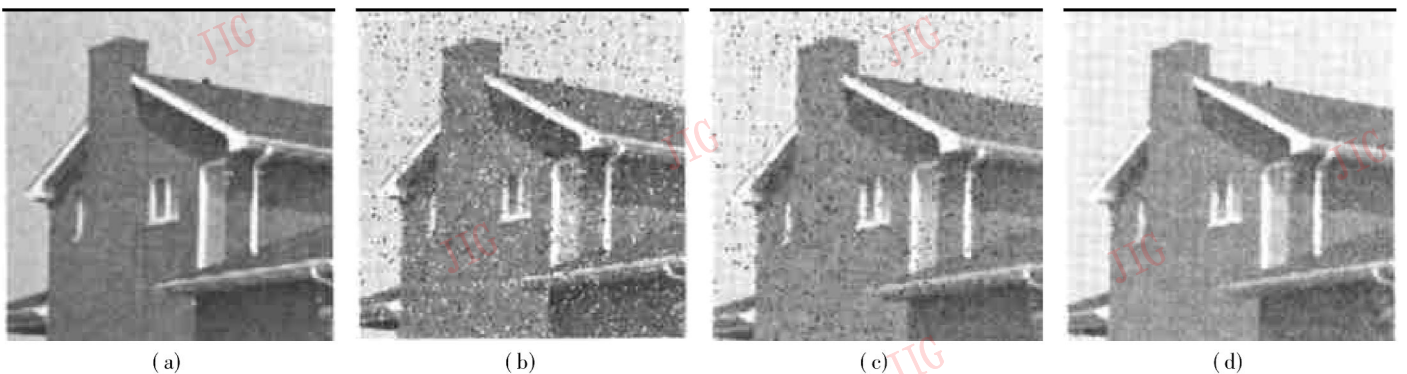
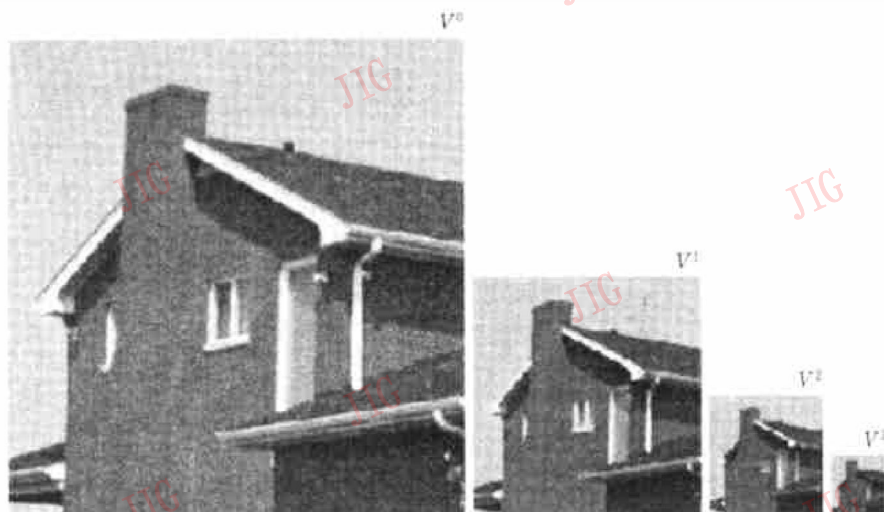
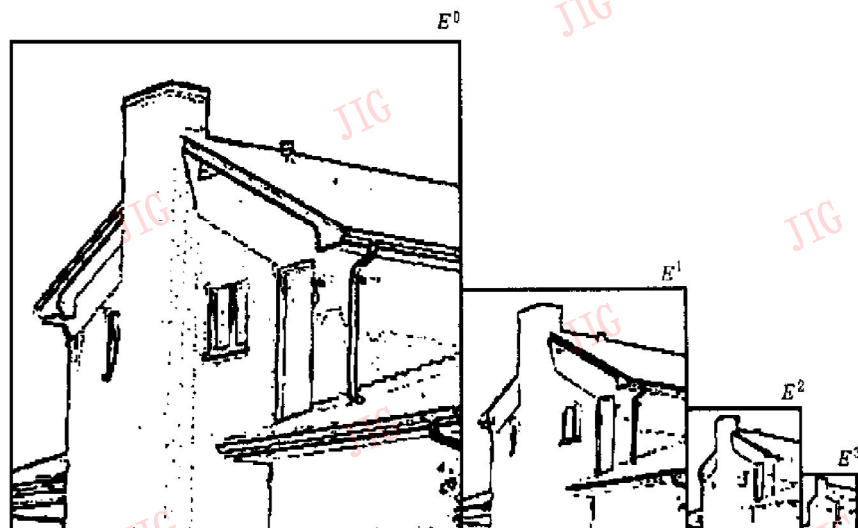


图 2 彩色图象的彩色形态变换结果



(a) 图 2(a) 经彩色形态采样后得到的彩色多分辨率图象



(b) 采用彩色形态腐蚀差提取的对应于图 3(a) 各分辨率的边缘图象

图 3 彩色图象的彩色形态采样和提取的边缘图象

3 结 论

本文提出了基于 RGB 彩色空间的彩色形态变换理论, 讨论了彩色形态变换和它们的性质, 并研究了彩色形态学与二值形态学和灰度形态学的联系. 彩色形态变换的理论可应用于彩色图象的噪声滤波、目标的特征提取和区域分割. 利用基本的彩色形态变换, 能够构成复合彩色形态变换, 诸如彩色形态开、彩色形态闭、替代彩色形态滤波器、彩色梯度和彩色 top-hat 变换等等.

参 考 文 献

1 Heijmans H J A M. Mathematical morphology: a modern approach in image processing based on algorithm and geometry. SIAM

Review, 1995, 37(1): 1~ 36.

2 Dougherty E R. Digital Image Processing Methods. Marcel Dekker, Inc., 1994.

3 Matheron G. Random sets and integral geometry. New York: J. Wiley, 1975.

4 Serra J. Image analysis and mathematical morphology. Academic Press, 1982, 1.

5 Sternberg S R. Grayscale morphology. CVGIP, 1986, 35(3): 333~ 355.

6 Maragos P. A representation theory for morphological image and signal processing. IEEE PAMI, 1989, 11(6): 586~ 599.

7 Heijmans H J A M. Theoretical aspects of gray-scale morphology. IEEE PAMI, 1991, 13(6): 568~ 597.

8 Heijmans H J A M. Morphological image operators. Academic Press, 1994.

9 Serra J. Image analysis and mathematical morphology. Academic Press, 1988, 2.

10 Shih F Y, et al. Threshold decomposition of gray-scale morphol-

- ogy into binary morphology, IEEE PAMI, 1989, 11(1):31~ 42.
- 11 Overturf L A, *et al.* Color image coding using morphological pyramid decomposition. SPIE Proceedings on Human Vision, Visual Processing, and Digital Display III, 1992, 1666: 265~ 275.
- 12 Cohen B, Dinstein I, Eyal M. A system for computerized classification of color textured perthite images. Pattern Recognition, 1997, 30(9): 1533~ 1545.
- 13 Trahanias P E, Pitas I, Venetsanopoulos A N. Color image processing, in Leondes C T. Control and Dynamic Systems, Academic Press, 1994, 67: 45~ 90.
- 14 蒋刚毅, 郑义, 郁梅. 采用二值序列变换的形状匹配. 电子学报, 1998, 26(4): 24~ 28.
- 15 Salembier P, *et al.* Size-sensitive multiresolution decomposition of images with rank order based filters. Signal Processing, 1992, 27(2): 205~ 241.



蒋刚毅 汕头大学人工智能与模式识别研究所副教授. 1992年于杭州大学电子工程系获得硕士学位, 目前正在韩国亚洲大学作访问研究. 主要研究领域为图象信号处理和语音信号处理. 为国家和省级自然科学基金课题的主要研究人员, 已发表论文 30 余篇.



郑义 汕头大学人工智能与模式识别研究所教授. 1968年毕业于广州中山大学物理系, 1982年于杭州大学物理学获得硕士学位, 1998年于中科院自动化研究所获得工学博士学位. 主要研究领域为数字信号处理. 已发表论文 60 余篇.



郁梅 汕头大学人工智能与模式识别研究所研究人员, 讲师. 1990年毕业于杭州电子工程学院计算机系, 1993年在该院获得硕士学位, 目前正在韩国亚洲大学攻读博士学位. 主要从事人工智能、计算机图象与图形学方面的研究.



陈燕华 汕头大学物理系高级实验师. 1968年毕业于广州中山大学物理系. 主要从事微机应用和数据处理等工作.

通 告

为适应我国信息化建设需要, 扩大作者学术交流渠道, 本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”. 作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给. 如作者不同意将文章编入该数据库, 请在来稿时声明, 本刊将做适当处理.