

# 彩色图像形态学的研究及其应用

尹星云<sup>1,2</sup>, 王峻<sup>2</sup>

(1. 中国科技大学信息科学技术学院, 合肥 230026; 2. 淮南师范学院信息技术系, 淮南 232001)

**摘要:** 基于对彩色图像形态学的研究, 提出一种面向 RGB 颜色空间的距离和字典序相结合的颜色向量序, 给出基于所定义像素序实现的彩色图像形态学膨胀、腐蚀、开和闭算子。把灰度图像形态学重构及一种边缘增强和噪声清除的算法推广到彩色图像。实验结果表明, 基于向量序实现的彩色图像形态学的基本算子性能良好, 边缘增强和过滤的效果较好。

**关键词:** 数学形态学; 颜色空间; 向量序; 膨胀; 腐蚀

## Research on Color Image Morphology and Its Application

YIN Xing-yun<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>2</sup>

(1. School of Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026;  
2. Information Technology Department, Huainan Normal University, Huainan 232001)

**【Abstract】** This paper puts forward a new order of color vector, which focuses on RGB color space with a combination of the revised distance order and lexicographical order based on the research on the color image morphology. Basic operators of color image morphology are introduced. By using basic operators of color image morphology, an algorithm of enhancement and an algorithm of filter of gray-image are extended to dispose color images. Experimental result demonstrates that the algorithms of color image morphology based on this order and reconstruction can better keep the peripheral information and an algorithm of enhancement and an algorithm of filter of color image based on this algorithm bring forth the quality of being salient.

**【Key words】** mathematical morphology; color space; vector order; dilation; erosion

### 1 概述

数学形态学是一种处理图像的高效数学工具, 它的发展经历了二值图像、灰度图像和彩色图像 3 个阶段, 分别称为二值形态学、灰度形态学和彩色形态学。二值形态学和灰度形态学已经被广泛地用于图像处理的各个领域, 彩色形态学的研究与应用还不成熟。二值形态学建立在集合论之上, 有 2 个最基本的算子: 膨胀和腐蚀。根据图像形状和应用定义一个称为结构元素的小集合, 用它扫描图像, 膨胀运算时放大图像, 腐蚀运算时收缩图像, 从而保持图像的本质特征、剔除或抑制不相干的内容。先腐蚀后膨胀构成开算子, 先膨胀后腐蚀构成闭算子。这 4 个基本算子的组合构成了所有的二值形态学算法, 它是一个无限的算子集合。利用域值化方法或本影方法可以把二值形态学理论推广到灰度图像, 其中, 集合的并和交运算用灰度的最大值和最小值代替, 相应还有用于灰度图像的膨胀、腐蚀、开和闭 4 个基本算子, 据此可以组合出无限多个用于灰度图像处理的功能强大的算法。由此可见, 数学形态学技术的核心是像素之间的大小比较, 灰度图像是标量函数, 很容易实现, 二值图像是灰度图像的特例, 所以, 很容易从二值形态学推广到灰度形态学。

彩色图像是向量值函数, 向量之间是不可比较的, 因此, 不能把灰度形态学直接推广到彩色图像。把灰度形态学推广到彩色图像的研究已经积累了一定的成果, 特别是 Serra, Goutsias 等人作出了突出贡献。根据 Goutsias 的研究成果<sup>[1]</sup>, 当确定了像素向量之间的排序关系后, 就可以像定义灰度形态学一样定义彩色形态学的腐蚀、膨胀、开和闭。利用这 4 个基本算子可以组合出无限多个算法, 包括把许多灰度形

态学算法直接推广到彩色图像。

Goutsias 描述的彩色形态学定义仅给出了理论方法, 具体实现需要根据表示图像的颜色空间设计颜色向量的排序方法。计算机系统和大多数捕获或显示图像的硬件设备都使用 RGB 颜色空间, 对于 LSH 和 Lab 等颜色空间, 必须先从 RGB 颜色空间变换到该空间处理, 再变换回 RGB 颜色空间输出, 变换过程中容易丢失信息, 计算繁琐, 增加时间开销。本文给出一种建立在 RGB 颜色空间之上、将距离和字典序相结合的向量序, 主要参考了文献[2]的研究成果。根据定义的像素序给出了实现彩色图像形态学 4 个基本算子的定义, 然后实现了彩色图像重构、边缘增强、过滤和边提取, 实验结果表明这些算法的性能良好。

### 2 彩色图像形态学

#### 2.1 颜色向量序

令  $f = (f_R, f_G, f_B)$  是 RGB 颜色空间的彩色图像, 任意像素点  $f$  的范数记为  $\|f\|$ , 定义  $f$  到白点  $f^0 = (255, 255, 255)$  的距离为  $d(f, f^0) = \|f - f^0\|$ , 为了方便计算, 用  $d^2$  代替  $d$ , 仍然记作  $d$ , 对于  $L_2$  距离, 有

$$d(f, f^0) = (f_R - 255)^2 + (f_G - 255)^2 + (f_B - 255)^2 \quad (1)$$

根据颜色理论, 人眼对相同强度单色光的主观感觉是白

**基金项目:** 安徽高校省级自然科学基金资助项目(KJ2007B075, KJ2008B128); 淮南师范学院自然科学基金资助项目(2007lkp18)

**作者简介:** 尹星云(1954-), 女, 副教授, 主研方向: 计算机图像处理; 王峻, 讲师、硕士

**收稿日期:** 2008-07-15 **E-mail:** yinxingyun@gmail.com

光最强，绿光仅次于白光，是红、绿、蓝三基色中最亮的光，红光次之，亮度约占绿光的一半，蓝光最弱，亮度约占红光的1/3。将式(1)的右端展开、化简后可以归纳为  $f_R, f_G$  和  $f_B$  的线性组合，所以，式(1)可以看作像素点  $x$  对应的颜色的亮度，但是没有考虑人的视觉感知系统对光的主观感觉，本文对此进行了改进。通过对几种亮度计算方法的实验，给式(1)右端的  $f_R, f_G$  和  $f_B$  分别乘上权值： $w_R=0.299, w_G=0.587, w_B=0.114$ ，则任意一个像素点  $x$  到白点的加权颜色距离为

$$d(f, f^0) = \text{round}((w_R \times f_R - 255)^2 + (w_G \times f_G - 255)^2 + (w_B \times f_B - 255)^2) \quad (2)$$

其中， $\text{round}(\cdot)$  表示对加权距离四舍五入取整。

根据式(2)，对于像素点  $x_1$  和  $x_2$ ，如果  $d(f^1, f^0) > d(f^2, f^0)$ ，说明  $x_1$  距离白点比  $x_2$  远，相应的颜色暗，所以，规定颜色向量  $f^1 < f^2$ ；反之，如果  $d(f^1, f^0) < d(f^2, f^0)$ ，则  $f^1 > f^2$ ；对于  $d(f^1, f^0) = d(f^2, f^0)$  情况，利用字典序比较，定义颜色向量序如下：当条件

- (1)  $d(f^1, f^0) > d(f^2, f^0)$ ；
- (2)  $d(f^1, f^0) = d(f^2, f^0)$ ，且  $f_R^1 < f_R^2$ ；
- (3)  $d(f^1, f^0) = d(f^2, f^0)$ ， $f_R^1 = f_R^2$ ，且  $f_G^1 < f_G^2$ ；
- (4)  $d(f^1, f^0) = d(f^2, f^0)$ ， $f_R^1 = f_R^2$ ， $f_G^1 = f_G^2$  且  $f_B^1 < f_B^2$

有一个成立时， $f^1 < f^2$ ，否则， $f^1 = f^2$ 。如果条件(4)中  $f_B^1 = f_B^2$ ，则  $f^1 = f^2$ ，归类到  $f^1 < f^2$  或者  $f^1 > f^2$  均可。这种序关系用符号  $\psi$  表示<sup>[2]</sup>。

## 2.2 彩色图像形态学基本算子

令  $B$  表示结构元素， $N_B(x)$  表示像素点  $x$  的邻域， $x \in \Omega$ ， $\Omega \subset Z^2$  是彩色图像  $f$  的定义域， $\sup_\psi(\cdot)$  表示按照关系  $\psi$  取上确界， $\inf_\psi(\cdot)$  表示按照关系  $\psi$  取下确界。按照Goutsias的研究成果，给出基于序  $\psi$  实现的彩色图像形态学基本算子<sup>[1]</sup>：

用  $B$  对  $f$  膨胀： $\delta_B f(x) = \sup_\psi \{f(y) : y \in N_B(x)\}$ ；

用  $B$  对  $f$  腐蚀： $\varepsilon_B f(x) = \inf_\psi \{f(y) : y \in N_B(x)\}$ ；

用  $B$  对  $f$  的开运算： $\gamma_B f(x) = \delta_B(\varepsilon_B f(x))$ ；

用  $B$  对  $f$  的闭运算： $\phi_B f(x) = \varepsilon_B(\delta_B f(x))$ 。

实验结果见图 1。



(a)原始图像

(b)膨胀

(c)腐蚀

(d)开

(e)闭

图 1 彩色图像形态学基本算子

在图 1(a)中，水果全变大了，西瓜上浅绿色斑块因膨胀使得深绿色条纹变细。图 1(b)中的水果全变小了，西瓜上浅绿色斑块因缩小使得深绿色条纹变粗了，说明膨胀算子具有很好的放大功能，腐蚀算子具有很好的收缩功能。图 1(c)中菠萝叶子上的小白点消失了。图 1(d)中与比较亮的背景重叠的细小的菠萝叶子消失了，说明开算子能够抑制比结构元素小的亮特征，闭算子能够抑制比结构元素小的暗特征。

因此，根据颜色向量序  $\psi$  定义的彩色图像形态学膨胀、腐蚀、开和闭算子能够较好地彩色图像进行膨胀、腐蚀和过滤处理。

## 3 应用

### 3.1 彩色图像重构

利用测地学膨胀实现的灰度图像重构能够达到很强的图像过滤效果，算法如下：

令  $I, J$  表示灰度图像，且  $J \geq I$ ，用  $\rho_i(J)$  表示从  $J$  重构  $I$ ，定义为

$$\rho_i(J) = \lim_{n \rightarrow +\infty} \delta_i^{(n)}(J) = \lim_{n \rightarrow +\infty} \delta_i^{(1)} \circ \delta_i^{(1)} \circ \dots \circ \delta_i^{(1)}(J) \quad (3)$$

即迭代  $\delta_i^{(1)}(J)$  直到稳定，每一次令  $J$  取上一次的运算结果，其中， $\delta_i^{(1)}(J) = (J \oplus B) \wedge I$ ； $J \oplus B$  表示标准的灰度图像膨胀； $\wedge$  表示逐点取最小。如果  $I$  取彩色图像， $J$  取  $I$  的开运算结果， $\oplus$  用 2.2 节彩色图像膨胀算子替换， $\wedge$  表示按照 2.1 节定义的向量序逐点取最小，就可以把式(3)直接推广到彩色图像<sup>[3]</sup>。实验结果见图 2。图 2(b)是用本文方法重构的图像，采用与文献[2]相同的  $20 \times 20$  的正方形结构元素，图 2(a)和图 2(b)中用白圈标出了 4 对差别比较大的地方。除此之外，重构图像与原始图像都非常接近，比文献[2]的实验结果有了较大的改进。图 2(c)~图 2(e)是从文献[2]实验结果中选出的效果最好的图像，但是每幅图像都有较大的地方原始信息不能恢复。



(a)原始图像

(b)本文方法重构的图像



(c)RGB 颜色空间

(d)LSH 颜色空间

(e)Lab 颜色空间

图 2 彩色图像重构

### 3.2 彩色图像边缘增强

对于灰度图像，白高帽可以提取图像中的亮特征，黑高帽可以提取图像中的暗特征。原始图像加上白高帽增强图像的亮特征，再减去黑高帽增强图像的暗特征，能够增加图像的对对比度。用 2.2 节的开( $\gamma_B f$ )和闭( $\phi_B f$ )算子将白高帽和黑高帽推广到彩色图像，仍然用  $top\_hat$  和  $bottom\_hat$  表示 2 个高帽运算，有

$$top\_hat = f - \gamma_B f, bottom\_hat = \phi_B f - f$$

其中,  $f$  是彩色图像;  $top\_hat$  算子得到的是高强度颜色特征;  $-bottom\_hat$  得到的是低强度颜色特征。原始图像加上  $top\_hat$  再减去  $bottom\_hat$  可以实现彩色图像边缘增强, 用  $K$  表示增强后的图像, 给出以下彩色图像边缘增强算法<sup>[4]</sup>:

$$K = f + top\_hat - bottom\_hat \quad (4)$$

式(4)依据的原理有 2 点:(1)图像的许多有用信息集中在图像的边缘部分, 式(4)的作用就是增大图像边缘的对比度。(2)式(3)的原理借鉴了美术学上的技巧, 例如艺术家们在着色时让图像中靠前的对象亮一些, 靠后的被遮挡的对象或者背景暗一些, 通过改变对比度达到对深度感知的效果, 使得图像具有立体感。实验结果见图 3, 图 3(b)中鸟的羽毛和眼睛等细节经过边缘增强处理, 明显比图 3(a)清晰。



图 3 图像增强

### 3.3 彩色图像过滤

对于灰度图像, 形态学开运算可以抑制正的峰值, 允许负峰值通过; 形态学闭运算正好相反, 它抑制负的峰值, 允许正的峰值通过。因此, 开-闭组合和闭-开组合都能够平滑(smoothing)图像, 但是开-闭组合稍微向高强度方向偏离, 闭-开组合稍微向低强度方向偏离, 取开-闭组合和闭-开组合的平均具有非常好的过滤效果(称为 LOCO 算法<sup>[5]</sup>):

$$LOCO_b f(x) = \frac{1}{2} \phi_b(\gamma_b f(x)) + \frac{1}{2} \gamma_b(\phi_b f(x)) \quad (5)$$

如果式(5)中的  $\gamma_b f(x)$  和  $\phi_b f(x)$  表示 2.2 节的彩色图像开和闭算子, 就将 LOCO 算法直接推广到了彩色图像。实验结果见图 4, 比较 2 幅图像可以看出过滤效果较好。



图 4 图像过滤

## 4 结束语

随着彩色传感器等硬件设备的发展, 彩色图像的获取越来越容易; 把彩色图像转换成灰度图像不可避免地会丢失许多信息, 因此, 把数学形态学从二值图像和灰度图像推广到彩色图像非常重要。本文研究了数学形态学的基本原理, 根据 Goutsias 等人提出的彩色形态学基本算子的形式化定义, 给出了一种具体的实现方法并应用到图像重构、边缘增强和过滤中, 实验结果良好。

### 参考文献

- [1] Goutsias J, Heijmans H J A M, Sivakumar K. Morphological Operators for Image Sequences[J]. Computer Vision Image Understanding, 1995, 62(3): 326-346.
- [2] Angulo J. Morphological Color Processing Based on Distances Application to Color Denoising and Enhancement by Centre and Contrast Operators[D]. Paris: Centre de Morphologie Mathématique, Ecole des Mines de Paris, 2005.
- [3] Vincent L. Morphological Grayscale Reconstruction in Image Analysis Application and Efficient Algorithms[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993, 2(2): 176-201.
- [4] Ederra G. Mathematical Techniques Applied to Anti-personnel Mine Detection[D]. Vrije: Dept. of Electronics and Information Processing, Vrije Universiteit, 1999.
- [5] Bosworth J, Acton A T. The Morphological Lomo Filter for Multiscale Image Processing[C]//Proc. of IEEE International Conference on Image Processing. Kobe, Japan: [s. n.], 1999.

(上接第 268 页)

- [3] Berson A, Smith J. Data Warehousing, Data Mining, and OLAP[M]. New York, USA: McGraw-Hill, 1997.
- [4] 彭木根. 数据仓库技术与实现[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

(上接第 270 页)

## 5 结束语

使用 JSAI 控制 VRML 场景方便、灵活, 使用脚本程序对场景的控制流程比较清晰。JSAI 将具有强大网络功能和逻辑运算功能的 Java 与 VRML 结合起来, 能够扩展 VRML 的使用, 使人机交互得到更加贴切的实现, 实用性也得到增强。由于 JSAI 是脚本创作接口, 偏重于虚拟场景内部情况的处理, 是以预定义的域和事件为基础的, 不能动态改变, 因此功能具有一定的局限性。

### 参考文献

- [1] Marrin C. Teach Yourself VRML 2 in 21 Days[M]. [S. l.]: Sams.net

- [5] 石丽, 李坚. 数据仓库与决策支持[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [6] Venerable M. Data Warehouse Design Solutions[M]. New York, USA: John Wiley & Sons, 1998.

- [1] Publishing, 1997.
- [2] 段昱新. 虚拟现实基础与 VRML 编程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 陆昌辉, 周正平. 使用 VRML 与 Java 创建网络虚拟环境[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003.
- [4] 沈江玮, 陈天滋. 基于多用户环境下的 VRML 系统框架[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(10): 2654-2656.
- [5] 钟世镇, 原林, 唐雷, 等. 数字化虚拟人国内关键技术和进展[J]. 中国基础科学, 2002, (6): 17-19.