

柔性(soft)形态学在图象边缘检测中的应用

黄凤岗 杨 国 宋克欧

(哈尔滨工程大学计算机与信息科学系 哈尔滨 150001)

摘 要 根据柔性形态学单调性、扩展性、和反扩展性等基本理论,讨论了柔性形态学在边缘检测中的应用.柔性形态变换是在经典形态变换基础上提出的一类非线性算子.它放宽了经典形态变换的定义,以获得一定程度的鲁棒性,但是,还保留了经典形态算子的优良特性.进而从理论上和几何意义上讨论了其进行边缘检测的原理,及算子的选择.另外,还与标准形态算子及 Robert 算子的处理结果进行了比较.通过计算机模拟实验表明:基于柔性形态学的边缘检测方法,不但几何意义明确,易于构造,而且性能也优于传统检测算子,尤其是具有去噪声的功能.

关键词 柔性形态学 边缘检测 结构元素

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)04-0284-04

The Soft Morphology Applied to Detecting Image Edge

HUANG Feng-gang, YANG Guo, SONG Ke-ou

(Computer and Science Information Department Harbin Engineering University, Harbin 150001)

Abstract In this paper, the basic theory of the soft morphology is presented and the soft morphology applied to detecting edge is discussed by its monotonicity, extensibility and anti-extensionality. The soft morphology is a non-linear operations based on standard morphological operations. The idea of soft morphological operations is to relax the standard definitions a little, in such a way that a degree of robustness is achieved while most of the desirable properties of standard morphological operations are maintained. The traditional edges detection methods are compared with the algorithms based on the soft morphological operators after analyzing their geometrical properties and the effects of the structuring element. The simulation results, which are better than the traditional operators illustrate the attractive property of the method. Especially, in the noising condition the method can detect edges without filtering.

Keywords Soft mathematical morphology, Detecting image edge, Structuring element

0 引 言

柔性形态变换是 Koskinen 等人在经典形态变换基础上提出的一类非线性算子^[1].它放宽了经典形态算子的定义,以获得一定程度的鲁棒性,但还保留了经典形态算子的优良特性,因此在有噪声的情况下比传统的形态算子性能更好.它可以应用到图象处理的各个方面,如图象增强、边缘检测、分割、细化、压缩编码、特征提取、形状分析、去噪滤波等^[2~4].本文就其在边缘检测中的应用进行了讨论,并分析了其用于边缘检测的原理及构造边缘检测算子的原则.

众所周知,边缘是图象最基本的特征,所谓边缘就是指周围灰度强度有反差变化的那些象素的集合,它是图象分割所依赖的重要特征,也是纹理分析和图象识别的基础.一般边缘检测常用的有梯度算子, Laplace 算子以及 Sobel 算子、Prewitt 算子、Robert 算子等几个非线性算子.然而,梯度算子和 Laplace 算子等有点类似于高通滤波,仅起到锐化图象边缘的作用,因而这些以微分为基础的线性算子,其边缘检测效果不佳.而其它几个非线性算子由于涉及方向性,且是各向异性的,当图象较复杂和细节较丰富时,也很难完全检测出边缘;另外,一旦图象含有噪声,则用上述算子直接处理其效果更不理想.在此背景下,

笔者开展了基于柔性形态学的图象边缘检测研究.

1 柔性形态变换

在柔性形态变换中, 结构元素被分割成“硬核”(相当于标准的结构元素)和“柔性边缘”两部分, 而经典形态算子中的最大最小运算, 在柔性形态算子中被排序统计所代替.

基本柔性形态变换的性质及定义如下:

设集合 A, B 为定义在 Z^2 的凸集, 且使 $A \subseteq B$, B 被分为“硬核” A 和“柔性边缘” $B \setminus A$ 两个子集, 这里“ \setminus ”代表集合差. 这里还定义一种重复集 (multiset), 重复集中包含的元素可以重复. 元素 $f(a)$ 重复 k 次被表示为

$$\{k \diamond f(a)\} = \{f(a), f(a), \dots, f(a)\} (k \text{ 次})$$

式中 k 为正整数, 且

$$1 \leq k \leq \min\{\text{Card}(B)/2, \text{Card}(B \setminus A)\}$$

其中 $\text{Card}(B)$ 代表集合 B 的基数 (cardinality); $a \in B$; f 代表灰度图象; A, B 为结构元素, 这里取 A, B 为平结构元素^[1,5].

定义 1 $[B, A, k]$ 对 f 的膨胀为

$$f \oplus [B, A, k](x) = \text{重复集}\{k \diamond f(a) \mid a \in A_x\} \cup \{f(b) \mid b \in (B \setminus A)_x\} \text{ 中第 } k \text{ 个大的值.} \quad (1)$$

定义 2 $[B, A, k]$ 对 f 的腐蚀为

$$f \ominus [B, A, k](x) = \text{重复集}\{k \diamond f(a) \mid a \in A_x\} \cup \{f(b) \mid b \in (B \setminus A)_x\} \text{ 中第 } k \text{ 个小的值.} \quad (2)$$

当 $k = 1$ 时, 柔性形态变换与经典形态变换相同; 当 $\text{Card}(A) = 0$ 时, 柔性形态变换与顺序形态变换相同.

性质 扩展性: $f \leq f \oplus [B, A, k]$

反扩展性: $f \ominus [B, A, k] \leq f$

单调性:

(1) 膨胀

① 当 $B = B_1, A = A_1$ 时, 若 $k \leq k_1$, 则

$$f \oplus [B, A, k] \geq f \oplus [B_1, A_1, k_1]$$

② 当 $B = B_1, k = k_1$ 时, 若 $A \supseteq A_1$, 则

$$f \oplus [B, A, k] \geq f \oplus [B_1, A_1, k_1]$$

③ 当 $k = k_1, A = A_1$ 时, 若 $B \supseteq B_1$, 则

$$f \oplus [B, A, k] \geq f \oplus [B_1, A_1, k_1]$$

(2) 腐蚀

① 当 $B = B_1, A = A_1$ 时, 若 $k \leq k_1$, 则

$$f \ominus [B, A, k] \leq f \ominus [B_1, A_1, k_1]$$

② 当 $B = B_1, k = k_1$ 时, 若 $A \subseteq A_1$, 则

$$f \ominus [B, A, k] \leq f \ominus [B_1, A_1, k_1]$$

③ 当 $k = k_1, A = A_1$ 时, 若 $B \subseteq B_1$, 则

$$f \ominus [B, A, k] \leq f \ominus [B_1, A_1, k_1]$$

2 柔性形态变换边缘提取的几何意义和结构元素的影响

基于柔性形态变换的边缘提取算法其原理非常简单, 它利用柔性形态变换的性质, 通过图象间的差运算得到原始图象的边缘信息. 由于其运算简单, 几何意义非常明确, 又能够通过结构元素的简单控制及 k 值选取来控制所要提取边缘的某些特征, 因而使得这种边缘检测方法具有一些传统方法所没有的性质. 例如, 若要求边缘检测算子对图象中的边缘不具有方向选择性, 则可以构造一个各向同性的结构元素; 当然, 如果要求提取某一定方向的边缘, 则可以构造一个各向异性的结构元素.

众所周知, 边缘即图象灰度跳变的区域, 下面以 $f \oplus [B, A, k] - f$ 为例, 用图来解释边缘检测的几何意义(图 1). 柔性形态变换的结构元素 B, A , 在平坦区域时, 由于落在“结构窗”内的各点灰度值都差不多, 所以平坦区域经变换后的输出和输入没有太大的差别. 而一旦进入灰度跳变区域, 则由于灰度值的差别比较大, 所以变换后的输出图象在结构元素进入灰度跳变区域的地方比原图象有一个“升高”, 根据柔性形态变换的扩展性, 有 $f \oplus [B, A, k] \geq f$, 若此时把 $f \oplus [B, A, k]$ 与输入的原图做图象减法, 则 $f \oplus [B, A, k] - f$ 反映了原图的边缘信息, 这是因为在平坦区域上 f 与 $f \oplus [B, A, k]$ 的差接近零. 而在灰度跳变区, $f \oplus [B, A, k]$ 与 f 的差别较大. 事实上, 我们还可以通过控制结构元素的形状、大小以及 k 的大小, 来控制输出边缘的某些性质, 如粗细、方向等. 控制结构元素的形状和大小, 对边缘提取的影响前人已有专门论述, 这里仅讨论 k 值的选取对边缘提取影响. 如图 2 所示: 对于 $f \oplus [B, A, k]$ 而言,

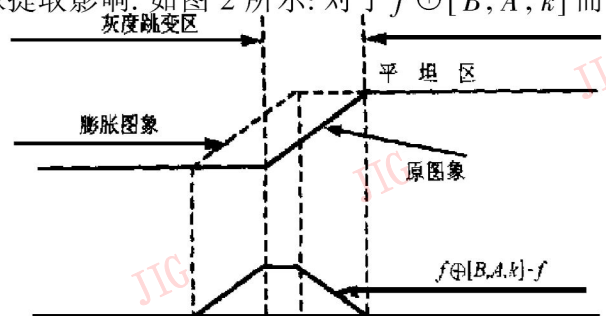


图 1 $f \oplus [B, A, k] - f$

当 $k < k_1$ 时, 有 $f \oplus [B, A, k] > f \oplus [B, A, k_1]$, 这样, 对于有噪声的情况, 就可以构造算子 $f \oplus [B, A, k] - f \oplus [B, A, k_1]$, 以便在提取边缘的同时滤除噪声.

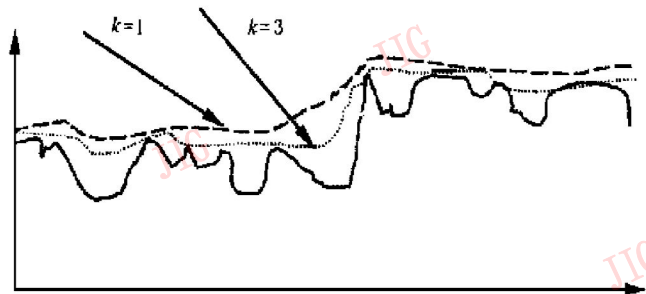


图 2

3 柔性形态算子的选取及构造

从上面的分析我们不难发现, 由于在平坦区域上柔性形态变换的输入、输出几乎相同, 而在跳变区域则有较大的差异. 因此就可以利用柔性形态变换的这种性质来识别灰度跳变区域(即边缘). 由于柔性形态变换可由 3 个参数确定, 即 A, B, k . 所以, 由这 3 个参数的不同而导致的变换的单调性、扩展性和反扩展性自然成了边缘检测的基础.

根据柔性变换的单调性、扩展性、反扩展性, 我们可构造如下边缘检测算子:

算子 1 $f \oplus [B, A, k] - f \oplus [B_1, A_1, k_1]$, 当 $k \leq k_1, B_1 \subseteq B, A_1 \subseteq A$

算子 2 $f \ominus [B_1, A_1, k_1] - f \ominus [B, A, k]$, 当 $k \leq k_1, B_1 \subseteq B, A \subseteq A_1$

算子 3 $f \oplus [B, A, k] - f$, 对任意的 A, B, k

算子 4 $f - f \ominus [B, A, k]$, 对任意的 A, B, k

算子 5 $f \oplus [B, A, k] - f \ominus [B_1, A_1, k_1]$, 对任

意的 A, B, k

算子 6 $f \oplus [B, A, k] - f \oplus [B, A, k] \ominus [B_1, A_1, k_1]$, 对任意的 A, B, k, A_1, B_1, k_1

算子 7 $f \ominus [B, A, k] \oplus [B_1, A_1, k_1] - f \ominus [B, A, k]$, 对任意的 A, B, k, A_1, B_1, k_1

对于有噪声的情况下, 可采用复合形态变换, 如采用算子 6 或算子 7, 以便消除噪声.

4 计算机模拟结果比较分析

图 3 显示的是上节中所述柔性形态变换边缘检测算子的边缘检测结果. 其中, 结构元素 A 取的是 1×1 平结构元素; B 取的是 3×3 平结构元素; k 取 3; k_1 取 4. 可见, 上节提出的算子在结构元素及 k 值相同的情况下是有差异的, 如算子 3, 算子 4 提取的边缘较细, 而算子 5 提取的则较粗. 因此可根据不同需求, 选取不同算子进行检测, 以达到不同的目的.

图 4 显示的是柔性形态算子、Robert 算子及标准形态算子($f \oplus B - f$)在有噪声和无噪声两种情况

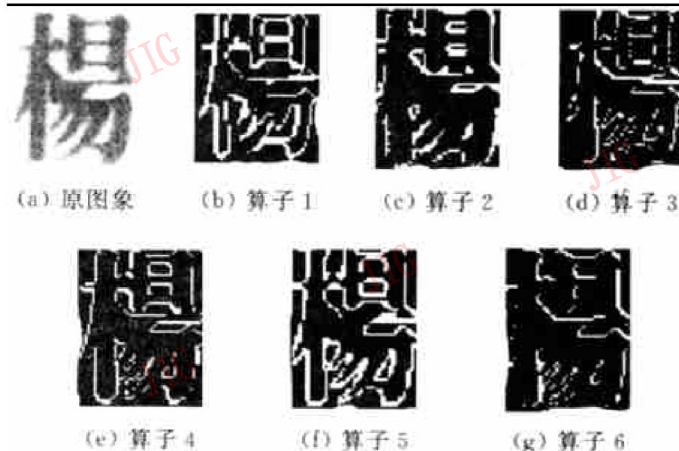


图 3 各种柔性算子的提取结果比较

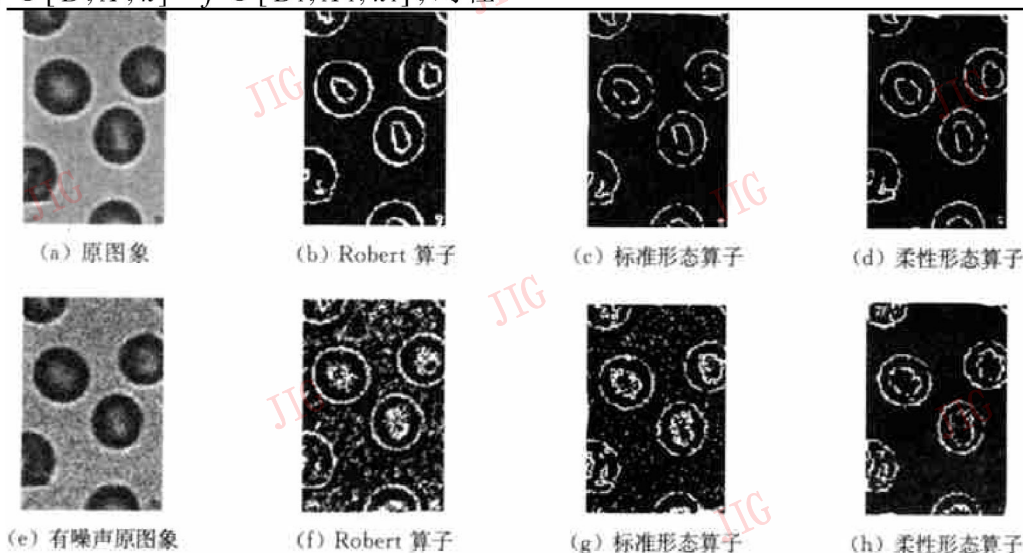


图 4 各种边缘检测算子的处理结果比较

下的比较。(a)为原图象,(e)为加 Gaussian 噪声的图象,从图4可以看出,在无噪声情况下,柔性形态算子提取的边缘较细,能够反映微细信息;在有噪声的情况下,Robert算子不能滤除噪声,标准形态算子虽能滤除部分噪声,但效果不理想,而柔性形态算子则可在提取边缘的同时滤除噪声,从而获得较满意的效果。

5 结 论

柔性形态变换几何意义明确,且构造简单,可以根据处理的目的构造不同的算子,特别是在有噪声的情况下,其边缘检测效果明显优于传统算子。另外,由于形态学固有的潜在的并行性,还可用于实时处理。

参 考 文 献

- 1 Koskinen, Astola J, Neuvo Y. Soft morphological filters. SPIE Symp. In: Image Algebra and Morphological Image Processing II, San Doego, USA, 1991, 262~ 270.
- 2 龚 炜,石青云,程民德著. 数字空间中的数学形态学——理论及应用. 北京: 科学出版社, 1997, 429~ 445.
- 3 Serra J. Image analysis and mathematical mophology. London: Academic Press, 1982, 45~ 60.
- 4 赵春晖,孙圣和. 一种复合顺序形态滤波百分位值优化方法. 通信学报, 1998, (2): 32~ 37.
- 5 Harvey N, Marshall S. Gray-scale soft morphological filter optimization by genetic algorithms. In: Maragos P, *et al.* (eds.) Kluwer Academic Publishers, Mathematical Morphology and Its Applications to Image and Signal Processing, 1996, 179~ 186.

- 6 Kyung-Hoon Lee, Aldo Morales, Sung-Jea Ko. Adaptive basis matrix for the morphological function processing opening and closing. IEEE Transactions On Image Processing, 1997, 6(5): 769~ 774.



黄凤岗 教授,1970年毕业于哈尔滨军事工程学院.主要从事模式识别,图象处理和计算机视觉教学研究.曾获得过省部级科技进步奖,在《电子学报》等刊物上发表过二十多篇文章。



杨 国 1973哈尔滨工程大学计算机与信息工程系研究生.主要研究方向为形态学滤波、图象处理。



宋克欧 教授,中国电子学会会员,1964年毕业于哈尔滨军事工程学院.主要从事模式识别,图象处理和计算机视觉教学和研究。