

基于软化形态学的边缘检测

舒昌献 莫玉龙

(上海大学嘉定校区通信工程系, 上海 201800)

摘要 在介绍适用于二值图象的软化形态学(SoftMorphology)的定义及特性的基础上,将软化形态学概念加以推广,使之适用于灰度图象,并提出一种基于软化形态学的边缘检测方法——SMD(Soft Morphological Detector),还把此方法与其他的基于匀边形态学(Crisp Morphology)方法进行了比较。实验结果表明该方法具有很强的抑制噪声能力。

关键词 软化形态学 匀边形态学 边缘检测

0 前言

在计算机视觉和图象处理系统中,许多信息都包含在图象的边缘上,因此边缘检测对计算机视觉和模式识别来说是很重要的图象预处理。数学形态学^[1]应用于边缘检测基本思想是对图象用一定的结构元素进行基本操作以后与原图象相减^[2],即

$$f_0 = f - (f \ominus B) \quad (1)$$

Lee, Haralick 和 Shapiro 等提出了第一种能较强抑制噪声的模糊最小化形态学边缘检测算子——BM (Blur - Minimization edge detector)^[3]。Feehs 和 Arce 提出了 α -调整边缘检测算子——ATM (α -Trimmed Morphological edge detector)^[4], Xudong Song 等提出了可选结果滤波法——ASF (Alternating Sequential Filter)^[5]。这三种方法都是在匀边形态学基础上提出的。本文提出一种具有很强的抑制噪声能力的软化形态学算子——SMD (Soft Morphological Detector)。这种方法较之前面三种形态学方法效果好得多。

1 数学形态学

数学形态学应用于图象处理是利用图象的拓扑

特性进行操作的,利用集合理论对图象进行非线性变换。对于二值图象要么取“0”,要么取“1”;对于灰度数字图象,按照一定的结构元素对图象取最大值或最小值;匀边形态学(Crisp Morphology)在一定程度上能减小噪声的影响。有一种对噪声不太敏感、能很大程度抑制噪声的方法就是软化形态学(Soft Morphology)方法——SMD。数学形态学最基本的操作是腐蚀和膨胀,再由它们的不同组合而成形态开、形态闭。对匀边形态学和软化形态学,两者的操作方法是不同的,其他的运算则是相同的。匀边形态学的定义可以参考文献^[1],由于篇幅有限,不予罗列,下面着重介绍软化形态学。

对二值图象^[6]

$$\text{腐蚀: } (f \ominus B^{(m)})[x, y] = \begin{cases} 1, & \text{if } |f \cap B(x, y)| \geq m \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{膨胀: } (f \oplus B^{(m)})[x, y] = \begin{cases} 1, & \text{if } |f \cap B^c[x, y]| \geq m \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

式(2)、(3)中 m 称为结构元素参数,表示结构元素对图象的匹配程度,且 $1 \leq m \leq |B|$ 。在式(2)中,当 m 取 $|B|$ 时,则软化腐蚀退化成为匀边腐蚀; (3)中当 m 取 1 时,软化膨胀退化成为匀边膨胀。匀边形态学

• 本课题由国家自然科学基金资助

收稿日期:1997-01-15;收到修改稿日期:1998-05-11

和软化形态学的比较可以参考文献[6]。

对灰值图象则

$$\text{腐蚀: } (f \ominus B^{(m)})[x, y] = \max \{ \overline{f(z)^m}; z \in B(x, y) \} \quad (4)$$

$$\text{膨胀: } (f \oplus B^{(m)})[x, y] = \min \{ \overline{f(z)^m}; z \in B(x, y) \} \quad (5)$$

$$\text{形态开: } f^{B^{(m)}} = (f \ominus B^{(m)}) \oplus B^{(m)} \quad (6)$$

$$\text{形态闭: } f^{B^{(m)}} = (f \oplus B^{(m)}) \ominus B^{(m)} \quad (7)$$

式(4)、(5)表示结构元素作用于图象的模板中分别对最大 m 个和最小 m 个像素点灰度值取平均。也应该有 $1 \leq m \leq |B|$, 当 $m=1$ 时退化成为匀边形态学, 当 $m=|B|$ 时软化形态学退化成为局部平均法的图象平滑。由此可见软化形态学不仅能与匀边形态学直接联系起来, 还能与其他图象处理操作联系起来。可以证明匀边形态学所具有的性质, 软化形态学同样具有。数字图象的信噪比按式

$$SNR = 20 \times \log_{10}(255/e_{rms}) \quad (8)$$

计算, e_{rms} 为噪声的均方根, 参考文献[2]的实验结果表明: 一幅 256×256 的 Lena 图象受噪声污染以后信噪比 $SNR=15.1\text{dB}$, 只经过形态开以后 SNR 提高为 19.5dB , 然而经过开-闭操作以后 SNR 提高为 25.8dB 。在本实验中一幅 256×256 的 Lena 图象受噪声污染以后 SNR 为 20.5dB , 经过软化形态开以后 $SNR=22.8\text{dB}$, 经过匀边开-闭以后 $SNR=23.8\text{dB}$, 经过软化形态开-闭以后 $SNR=24.1\text{dB}$, 可见软化形态学运算的确比匀边形态学运算具有更强的抑制噪声的能力。

2 边缘检测方法

2.1 BM 方法

BM 基本思想是: 因为简单的形态学操作对噪声抑制能力较差, 则先对图象进行噪声模糊化然后进行基本操作, 结构元素 B 与局部平均窗口的宽度都为 $(2n+1)$ 。公式表示为

$$f_o(z) = \min \{ f_{av}(z) - (f_{av} \ominus B)(z), (f_{av} \oplus B)(z) - f_{av}(z) \} \quad (9)$$

2.2 ATM 方法

ATM 方法主要思想是对输入图象进行 α -调整, 从而达到抑制噪声的目的。 α -调整的定义式为

$$f(z) = \sum_{k=\alpha+1}^{k-\alpha} \frac{f_{(k)}(z)}{k-2\alpha} \quad (10)$$

边缘检测公式表示为

$$f_o = \min \{ f_B(z) - (f \ominus B)(z), (f \oplus B)(z) - f^B(z) \} \quad (11)$$

2.3 ASF 方法

对图象用与 x 轴成 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 四个不同方向的 l 的线形结构元素进行开 γ_l 和闭 φ_l , 所得图象再进行腐蚀操作

$$f_o = (\gamma_l \varphi_l \ominus B) - \gamma_l \varphi_l \quad (12)$$

上述三种方法是用的匀边形态学, 本实验还将软化形态学用于这三种方法, 并把两种不同的形态学方法所得结果进行比较。

2.4 SMD 方法

SMD 是一种完全基于软化形态学的边缘检测方法, 第1节的实验表明: 软化形态开-闭以后能使 SNR 提得更高, 因此, 先对图象进行形体滤波, 以提高信噪比, 然后再腐蚀相减。公式表示为

$$f_o = (f_{B^{(m)}})^{B^{(m)}} - ((f_{B^{(m)}})^{B^{(m)}} \ominus B^{(m)}) \quad (13)$$

3 四种方法的测试比较

对图象进行式(9), (11), (12), (13)的操作以后, 选取适当的门限 TH 便能得到边缘图象。门限 TH 的选择对边缘点的确定相当重要。对不同方法的评价可以用 ROC 图^[4]进行比较。在 ROC 图中, 横坐标 P_f 表示在一定门限下噪声点的百分比, 纵坐标 P_d 表示检出边缘点占总的边缘点的百分比。本实验采用一幅 256×256 的方框图来计算 P_f 和 P_d , 其灰度值为 100, 正中间有一个 128×128 的小方框图, 其灰度值为 150。因为小方框图的边缘能精确定位, 所以 P_f 和 P_d 能够很容易地计算出来。加上一定的噪声以后, 信噪比按下式计算^[4]

$$SNR = \frac{h^2}{\sigma^2} \quad (14)$$

其中 $h=50$ 即灰度值之差, σ^2 噪声的标准方差。所用图象的信噪比分别为 $SNR_1=6.3\text{dB}$, $SNR_2=2.8\text{dB}$ 。如果在信噪比较大的情况下, 各种方法都能够很准确的检出边缘来, 比如在 $SNR=25.2\text{dB}$ 的情况下, 各种方法基本上没有什么差别, 故选两幅较小信噪比的图象进行比较, 所加噪声都为高斯噪声。在 BM 和 ATM 中既用了匀边形态学, 也用了软化形态学。在图1, 2中, 带“O”的实线表示软化形态

学方法的结果,带“X”的实线表示匀边形态学方法的结果。从图1,2中,再次可以看出软化形态学方法比匀边形态学方法具有更强的抑制噪声的能力,实验结果更能让人满意。而对于 ASF,因为它是从不同方向求最大和最小,经过开闭作用以后的图象噪声也是沿四个方向呈线状,若再用软化形态学方法的话,会使得噪声增强,因此 ASF 的 ROC 图中软化形态学曲线反而在匀边形态学曲线的右下方(文中未

列出)。在 SMD 方法的 ROC 图3中,各曲线分别表示 BM、ATM、ASF、SMD 方法从匀边形态学方法或软化形态学方法中选取的较好的检测方法所得的结果。图中实线表示 SMD,带“×”实线代表 BM-S(S—Soft Morphological),带“*”实线代表 ATM-S,带“O”实线代表 ASF-C(Crisp Morphological)。显而易见,SMD 方法最好。特别在 SNR 较小的情况下,如图3(b)所示,SMD 的强壮性更突出。

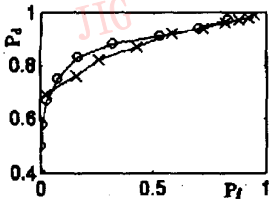


图1(a) plot of BM SNR=6.3 dB

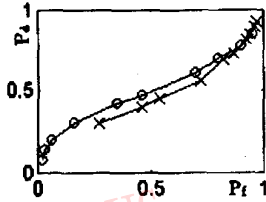


图1(b) plot of BM SNR=2.8 dB

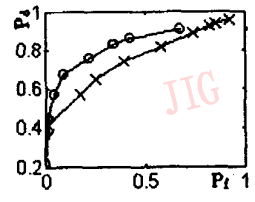


图2(a) plot of ATM SNR=6.3 dB

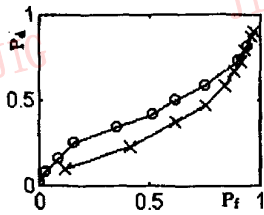


图2(b) plot of ATM SNR = 2.8 dB

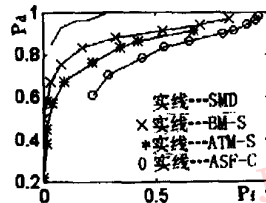


图3(a) plot2 SNR = 6.3 dB

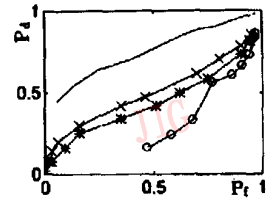


图3(b) plot3 SNR = 2.8 dB

4 实验结果

从前一节的各 ROC 图中,很容易看出 BM-C、BM-S、ATM-C、ATM-S、AFS-C、AFS-S、和 SMD 各方法检测边缘性能的好坏,特别从图3(b)中可以看出:SMD 方法效果最好。这是在边缘能精确定位的情况下进行的比较。然而对实际的图象,它们的效

果如何?仍然通过实验予以检验。下列各图是在各自能使视觉效果达到最好情况下,取不同门限所得的结果。原图为一幅受高斯噪声污染、256×256 的 Lena 图象,其 SNR=20.5dB。(从上一节分析可知 ASF-C 优于 ASF-S,图3示出 ASF-C 效果最差,因此本节不作比较)



图4 noisy Lena



图5(a) BM-C



图5(b) BM-S



图6(a) ATM-C



图6(b) ATM-S



图7 SMD

在这些图中,从视觉效果上看,图5(b)中噪声点少于5(a),6(b)中噪声点少于6(a),在5(b)、6(b)、及7等4幅图中,很明显图7 SMD方法的视觉效果最好,其次为BM-S方法的结果,再次为ATM-S方法的结果。与第3节图3的结果完全一致,同时也证明前一节的评定方法是符合客观实际的。

6 结论

图象的边缘包含了大量的信息,因此边缘检测在图象处理中占有重要的地位,许多工作者致力于这方面的工作,提出了许多方法,而有的方法对噪声很敏感。本文在匀边形态学的基础上介绍了软化形态学,及其相应形态学方法的边缘检测方法。在BM和ATM方法中,BM-S和ATM-S分别比BM-C和ATM-C的效果好,而在ASF方法基础上ASF-C比ASF-S效果好。在BM、ATM、ASF、和SMD四

种方法中,从ROC图和实际边缘检测结果来看,SMD抑制噪声效果最好,边缘检测结果最好。

参考文献

- 1 唐常青.《数学形态学方法及其应用》.北京:科学出版社.
- 2 Petros Maragos. Tutorial on advances in morphological image processing and analysis *Optical Engineering*, 1987, 26(7):623~632.
- 3 James s. Lee. J Morphological Edge Detection. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1987, RA-3, (2): 142~156.
- 4 Richard J. Feechs. Multidimension morphological edge detection. *SPIE vol. 845 Visual Communications and Image Processing II*, 1987, 285~292.
- 5 Song. Xudong Robust edge detector based on morphological filters. *Pattern Recognition Letters* 14, November 1993, 889~894
- 6 Michael A. Efficient Algorithms for the Soft Morphological Operators. *IEEE Transaction on pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(11): 1996 1142~1147.



舒昌献 1994年毕业于华中师范大学物理系,获理学学士学位。现攻读上海大学(嘉定校区)通信工程系硕士学位。有兴趣的研究方向为神经网络、图象处理与模式识别等。



莫玉龙 1962年毕业于西安交大自动控制系,现为上海大学通信与信息工程学院教授,博士生导师。主要研究领域为图象处理与模式识别,以及人工神经网络。

Robust Edge Detection Based on Soft Morphology

Shu Changxian, Mo Yulong

(Shanghai University Jiading Campus, Shanghai 201800)

Abstract Mathematical morphology is an efficacious theory and method, which used in image processing and pattern recognition, especially in image edge detection. This paper introduces the definition of soft morphology, then presents a robust edge detector based on it—SMD (Soft Morphological Detector), and compared with other edge detectors based on crisp morphology. The results of experiments show that this new detector—SMD has very strong robustness, and performs better than other morphology detectors.

Keywords Soft morphology, Crisp morphology, Edge detection.