

# 一种新的图象平滑方法及其性能评价

王德民 王庆麟  
(山东工业大学)

## 摘 要

本文提出了一种新的图象平滑方法——修正的邻域平均法。这种方法不仅能够有效地平滑噪声,还能够锐化模糊的图象边缘;计算比较简单,不需要任何先验知识和预定的参数。为了定量地评价这种平滑方法的性能,本文对计算机产生的试验图象定义了一种图象优值,作为评价的指标。并且通过实验将这种平滑方法的性能与梯度的倒数加权平均法、中值滤波法进行了比较。最后给出了处理实际照片的结果。

## 一、引 言

由于噪声普遍存在于各种图象之中,所以平滑噪声的方法是数字图象处理中的重要研究课题之一。平滑图象噪声的困难在于必须尽量避免降低图象的清晰度,不使图象的边缘进一步模糊。二十多年来,已经有许多种图象平滑方法。其中邻域平均法<sup>[1,2]</sup>是最简单的平滑方法。它对噪声的抑制能力较强,但会使图象的边缘产生严重的模糊,给边缘检测带来困难。采用中值滤波<sup>[3]</sup>来平滑图象中的噪声也会使边缘产生一定程度的模糊。D. C. C. Wang 等人<sup>[4]</sup>提出了梯度的倒数加权平均法。这种方法虽然不会使图象的边缘产生明显的模糊,但是对噪声的平滑作用较差。A. Scher 等<sup>[5]</sup>提出了半邻域平均法。A. Lev<sup>[6]</sup>等提出了另一种加权平均法。使用这两种方法需要凭经验或者通过反复试验来确定其中的参数。这不仅会给使用者增加麻烦,还会使处理效果受到参数选择的影响。另外,大多数实际图象的边缘都有一定的模糊。如果能够在平滑噪声的同时锐化图象的边缘,就更为理想了。M. Nagao 等<sup>[7]</sup>提出的一种选择邻域平均法具有锐化边缘的作用,但是计算十分复杂,处理一幅图象需要很长的时间。

本文提出了一种能够锐化边缘的图象平滑方法——修正的邻域平均法。它的计算比较简单,不需要任何预定的参数。

## 二、修正的邻域平均法

假设图象受到加性高斯白噪声的干扰,以  $g(i, j)$  表示原始无噪声图象;  $n(i, j)$  表示高斯白噪声;  $x(i, j)$  表示受噪声干扰的图象。于是

$$x(i, j) = g(i, j) + n(i, j). \quad (1)$$

令  $V_{i,j}$  表示以点  $(i, j)$  为中心的邻域, 该邻域中包含  $N$  个象点.  $m(i, j)$  表示邻域  $V_{i,j}$  内的灰度均值. 为了方便, 将  $m(i, j)$  简写为  $m$ , 则

$$m = \frac{1}{n} \sum_{(k,l) \in V_{i,j}} x(k, l). \quad (2)$$

上式就是邻域平均法的计算公式, 用  $m$  作为点  $(i, j)$  处的灰度估计值. 如果有一条边缘通过邻域  $V_{i,j}$ , 如图 1 所示, 则邻域平均法会引起严重的边缘模糊. 为了改善它对边缘的响应, 可以给邻域均值  $m$  加一个修正项. [修正值的大小应随着图象的局部细节变化. 如果有边缘通过  $V_{i,j}$ , 它取较大的值, 以补偿  $m$  所造成的模糊. 如果没有边缘通过  $V_{i,j}$ , 其值趋近于零, 以保持邻域平均法较强的平滑能力.]

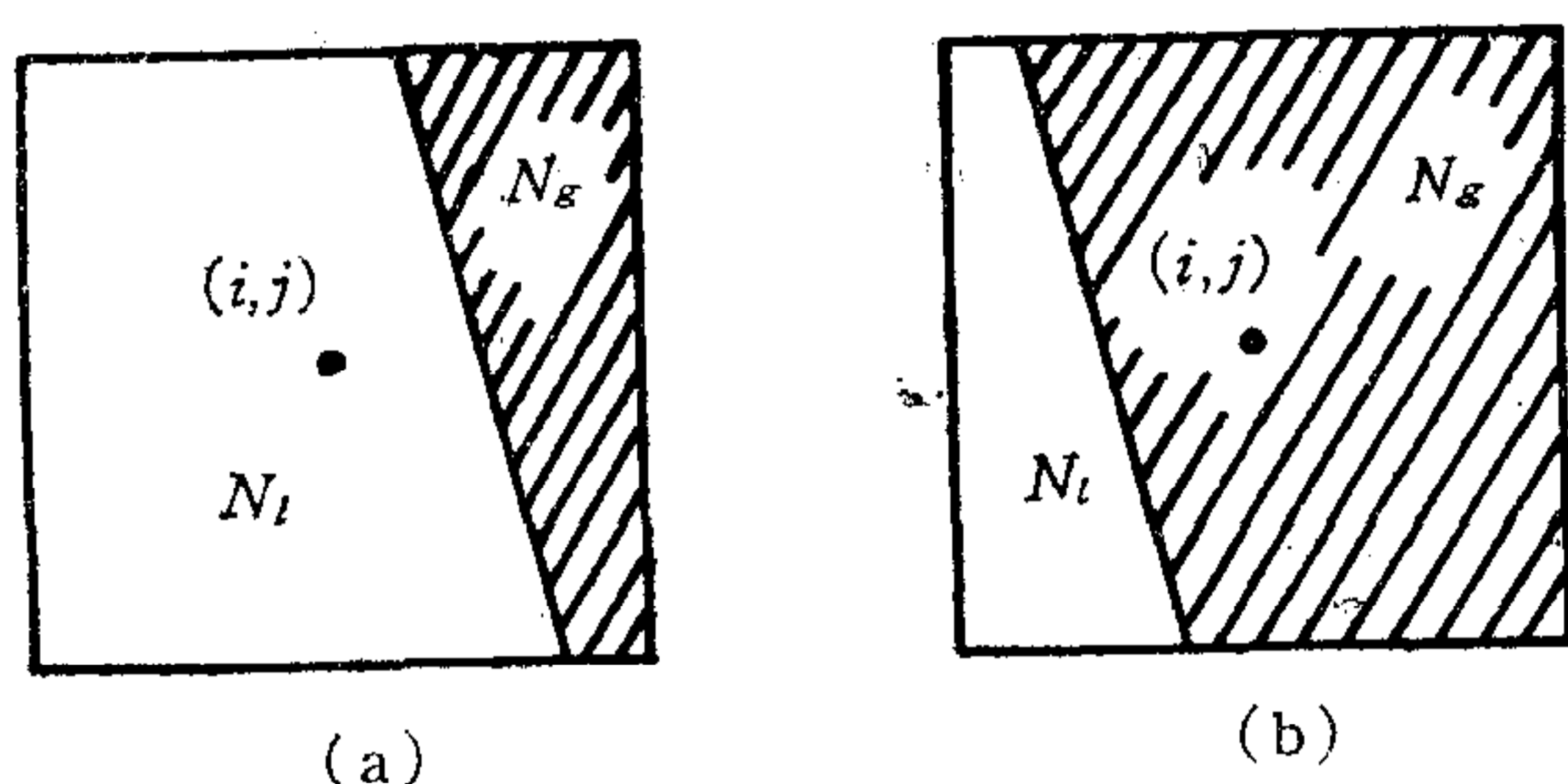


图 1 直线边缘将矩形邻域分成两个区域, (a)  $N_l > N_g$ , (b)  $N_g > N_l$

在一个邻域内, 除了可以利用灰度均值以外, 还有灰度的上偏差和下偏差能够提供某些局部信息. 上偏差以  $m_g(i, j)$  表示, 简写为  $m_g$ , 定义为灰度级大于邻域均值  $m$  的各象点的灰度平均值与  $m$  之差. 如果分别以  $N_g, N_0, N_l$  记  $V_{i,j}$  内灰度级大于、等于和小于  $m$  的象点数, 则灰度的上偏差可以表示为

$$m_g = \frac{1}{N_g} \sum_{\substack{(k,l) \in V_{i,j} \\ x(k,l) > m}} x(k, l) - m. \quad (3)$$

灰度的下偏差以  $m_l(i, j)$  表示, 简写为  $m_l$ . 定义为邻域均值  $m$  与灰度级小于  $m$  的各象点的灰度平均值之差, 即

$$m_l = m - \frac{1}{N_l} \sum_{\substack{(k,l) \in V_{i,j} \\ x(k,l) < m}} x(k, l) \quad (4)$$

并有

$$N_g + N_0 + N_l = N.$$

很明显, 对于图 1(a) 所示的情况, 点  $(i, j)$  所在的区域的灰度平均值为  $m - m_l$ . 而对于图 1(b), 点  $(i, j)$  所在的区域的灰度平均值为  $m + m_g$ . 因此, 可以用  $\alpha m_g$  (当  $N_g > N_l$  时) 和  $\alpha m_l$  (当  $N_l > N_g$  时) 作为修正项. 其中  $\alpha$  的取值范围为 0 到 1, 由它的取值大小反映  $V_{i,j}$  中的边缘状况. 由于假设噪声服从高斯分布, 所以在灰度均匀的区域, 或者直线边缘恰好通过邻域的中心 (此时中心点的灰度级应当等于边缘两侧的灰度平均值),  $N_g$  将近似等于  $N_l$ ,  $\alpha$  应当取较小的值. 而对于图 1 所示的情况,  $N_g$  与  $N_l$  相差较大,  $\alpha$  应当取较

大的值。故将  $\alpha$  定义为

$$\alpha = \begin{cases} 1 - \left(\frac{N_g}{N_l}\right)^\gamma; & N_l > \max\{N_g, N_0\}, \\ 1 - \left(\frac{N_l}{N_g}\right)^\gamma; & N_g > \max\{N_l, N_0\}, \\ 0; & \text{其它.} \end{cases} \quad (5)$$

其中  $\gamma > 0$ 。因此修正的邻域平均法由下式给出：

$$y(i, j) = \begin{cases} m - \left[1 - \left(\frac{N_g}{N_l}\right)^\gamma\right] m_l; & N_l > \max\{N_g, N_0\}, \\ m + \left[1 - \left(\frac{N_l}{N_g}\right)^\gamma\right] m_g; & N_g > \max\{N_l, N_0\}, \\ m; & \text{其它.} \end{cases} \quad (6)$$

式中  $y(i, j)$  为平滑后点  $(i, j)$  的灰度估计值， $m, m_g, m_l$  分别由式(2)–(4)给出。

指数  $\gamma$  的大小直接影响式(6)的性能。分析计算的结果<sup>1)</sup>表明：①指数  $\gamma$  越小对噪声的平滑作用越强；②公式(6)对模糊的图象边缘具有锐化作用，并且指数  $\gamma$  越大，其锐化作用越强。一般在噪声较强的情况下，噪声干扰对图象质量的影响比较突出，所以  $\gamma$  应当取较小的值。相反，在噪声较弱和图象细节较多的情况下，边缘模糊的影响比较明显，这时  $\gamma$  应当取较大的值。因此指数  $\gamma$  应当随噪声的强弱和图象细节的多少而变化。故令  $\gamma$  等于图象的标准差与噪声的标准差之比，即

$$\gamma = \frac{\sigma_g}{\sigma_n}. \quad (7)$$

这样能够根据不同的图象和噪声自动地调整式(6)的平滑和锐化作用。将式(7)代入式(6)，就得到修正的邻域平均法的计算公式。

为了估计噪声的方差  $\sigma_n^2$ ，可以将受噪声干扰的图象划分成若干个子块(例如  $16 \times 16$  的正方形子块)，分别计算每个子块的灰度方差，取其中的最小值作为噪声方差  $\sigma_n^2$ 。根据式(1)，无噪声图象的方差  $\sigma_g^2$  可以由下式给出

$$\sigma_g^2 = \sigma_x^2 - \sigma_n^2. \quad (8)$$

式中  $\sigma_x^2$  为噪声图象  $x(i, j)$  的方差。如果用这种方法进行多次迭代平滑，那么式(7)中的噪声标准差应当取前一次平滑的输出噪声标准差。这样会随着噪声减小，指数  $\gamma$  逐次增大，从而逐步锐化图象的边缘。在以下的实验和应用中， $V_{i,j}$  均取为  $3 \times 3$  的邻域。

### 三、性能评价

为了定量地评价修正的邻域平均法的性能，需要选择一种具有代表性的、结构简单的图象作为试验图象。本文采用  $64 \times 64$  的试验图象，由一条垂直边缘和两个灰度级不同

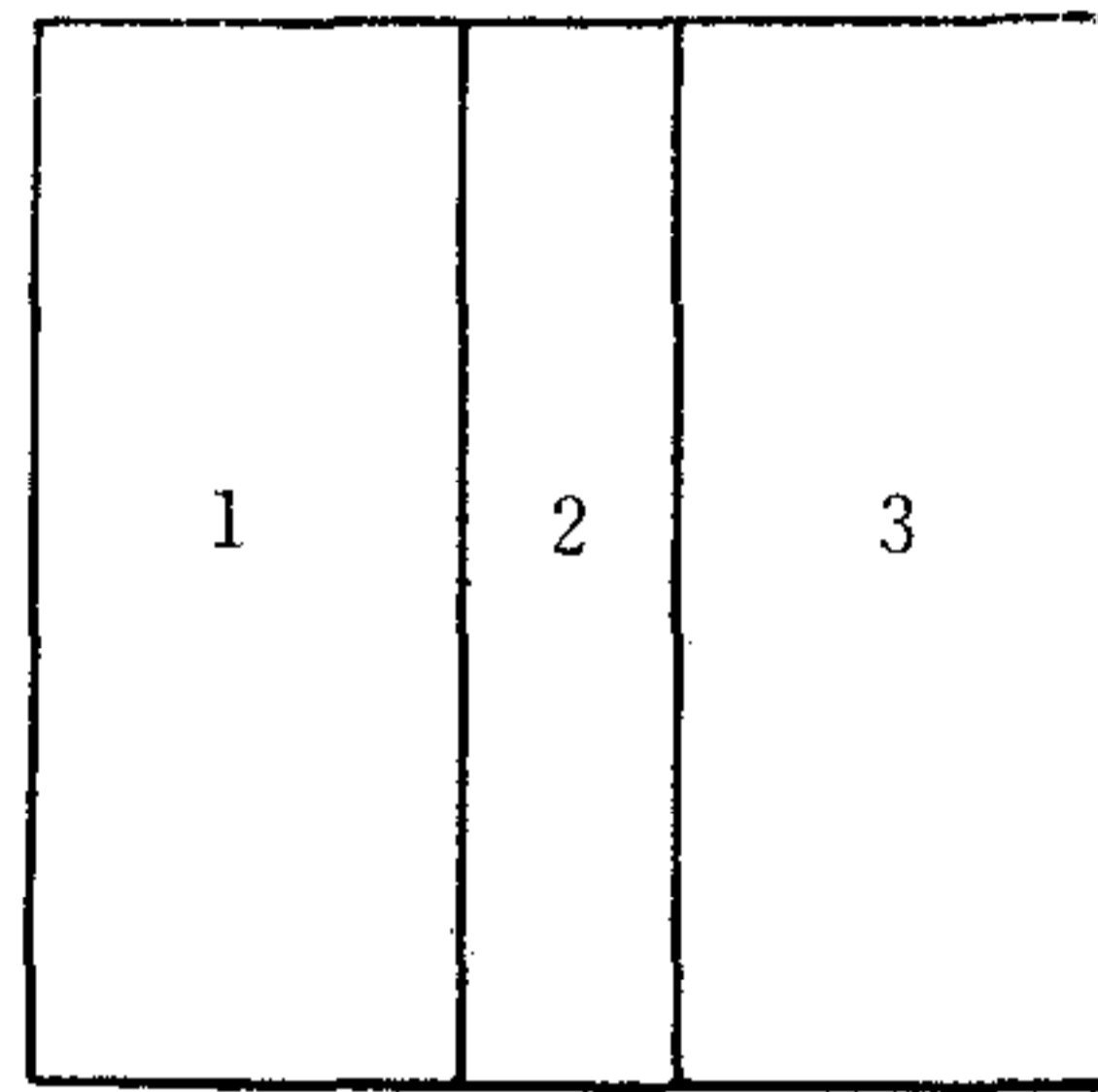
1) 王德民、王庆麟，一种能够锐化边缘的图象平滑方法——修正的邻域平均法，第四届全国模式识别与机器智能学术会议论文集(四)。



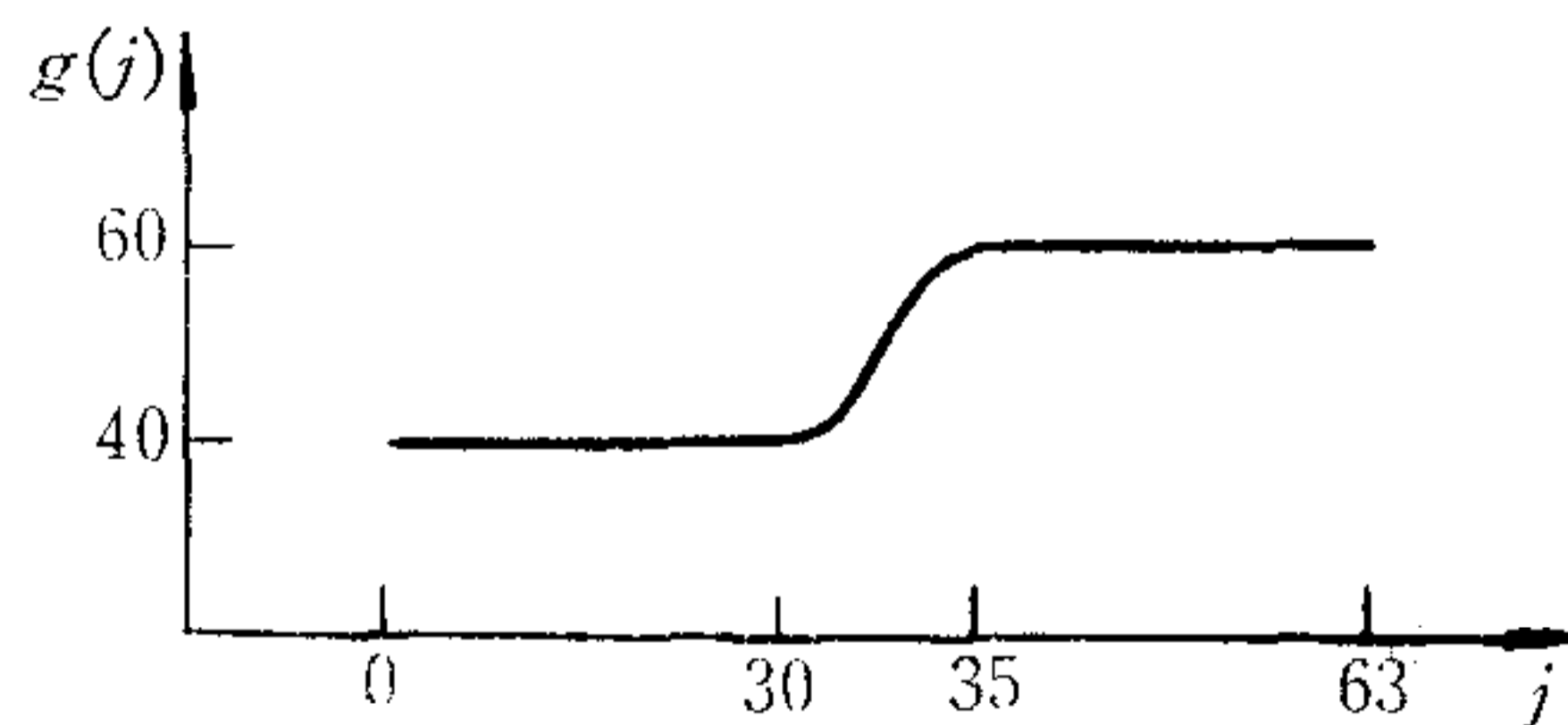
的均匀区域组成,如图 2(a) 所示. 图中的区域 2 为边缘区域,区域 1 和 3 为均匀区域. 边缘的形状如图 2(b) 所示,它可以由二次函数表示

$$g(j) = \begin{cases} 40; & j \leq 30 \\ 40 + 2.5(j - 30.5)^2; & 31 \leq j \leq 32 \\ 60 - 2.5(j - 34.5)^2; & 33 \leq j \leq 34 \\ 60; & j \geq 35. \end{cases}$$

其边缘高度  $H = 20$ . 绝大多数实际图象的边缘都有一定的模糊,其形状可以由图 2(b) 所示的边缘来近似地表示. 所以采用这种试验图象能够反映出图象平滑方法对模糊边缘的影响.



(a)



(b)

图 2 (a) 试验图象的结构;(b) 试验图象的边缘曲线

针对上述的试验图象,定义一种图象优值作为评价图象平滑方法的定量指标. 这一优值必须能够反映: ①图象中噪声的大小;②图象的边缘陡度;③边缘的中心位置是否产生偏移. 噪声的大小由噪声方差来衡量. 分别以  $\sigma_h^2, \sigma_e^2$  表示均匀区域和边缘区域的噪声方差,以  $y(i, j)$  表示对加噪声的试验图象平滑后的图象. 边缘区域的噪声方差定义为

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{6 \times 64} \sum_{j=30}^{35} \sum_{i=0}^{63} [y(i, j) - \bar{y}_j]^2.$$

式中  $\bar{y}_j$  为平滑后第  $j$  列象点的灰度平均值. 对于图 2 所示的试验图象,可以用  $\bar{y}_j$  的差分最大值  $M_d = \max_j \{\bar{y}_j - \bar{y}_{j-1}\}$  来衡量边缘的陡度. 边缘的中心位置就是差分达到最大值的位置. 因此,将图象的优值定义为

$$F = \frac{M_d}{H} \cdot \frac{1}{(1 + aD^2) \left(1 + b \frac{\sigma_h^2}{H^2} + c \frac{\sigma_e^2}{H^2}\right)}. \tag{9}$$

式中  $D$  为平滑后边缘中心偏移的距离； $a, b, c$  为参数； $\frac{M_d}{H}$  为归一化的边缘陡度； $1 + b \cdot \frac{\sigma_h^2}{H^2} + c \frac{\sigma_c^2}{H^2}$  反映图象中噪声的强弱。对于理想的情况（无噪声存在，无偏移的阶跃边缘） $F$  等于 1。相反，如果噪声非常强，或者边缘完全变模糊了（ $M_d \rightarrow 0$ ）， $F$  将接近于 0。

为了确定参数  $b$  和  $c$ ，考虑  $D = 0, M_d = H$  以及  $\sigma_h^2 = \sigma_c^2 = \sigma_n^2$  的情况。如果信噪比  $D$  小于 1，图象的质量相当差，其优值应小于 0.1，如果信噪比大于 100，噪声对图象的影响不太明显，其优值应大于 0.9。同时考虑到实际图象中边缘区域远小于均匀区域的面积，取  $b = 8, c = 2$ 。参数  $a$  取为 0.2。

在试验图象中分别加入方差为 400, 80, 20, 4 的零均值高斯白噪声，即图象的信噪比分别为 1, 5, 20, 100。用修正的邻域平均法对加噪声的试验图象进行多次迭代平滑，按式 (9) 计算出平滑前后试验图象的优值如图 3 所示，其中迭代次数为 0 的优值对应于

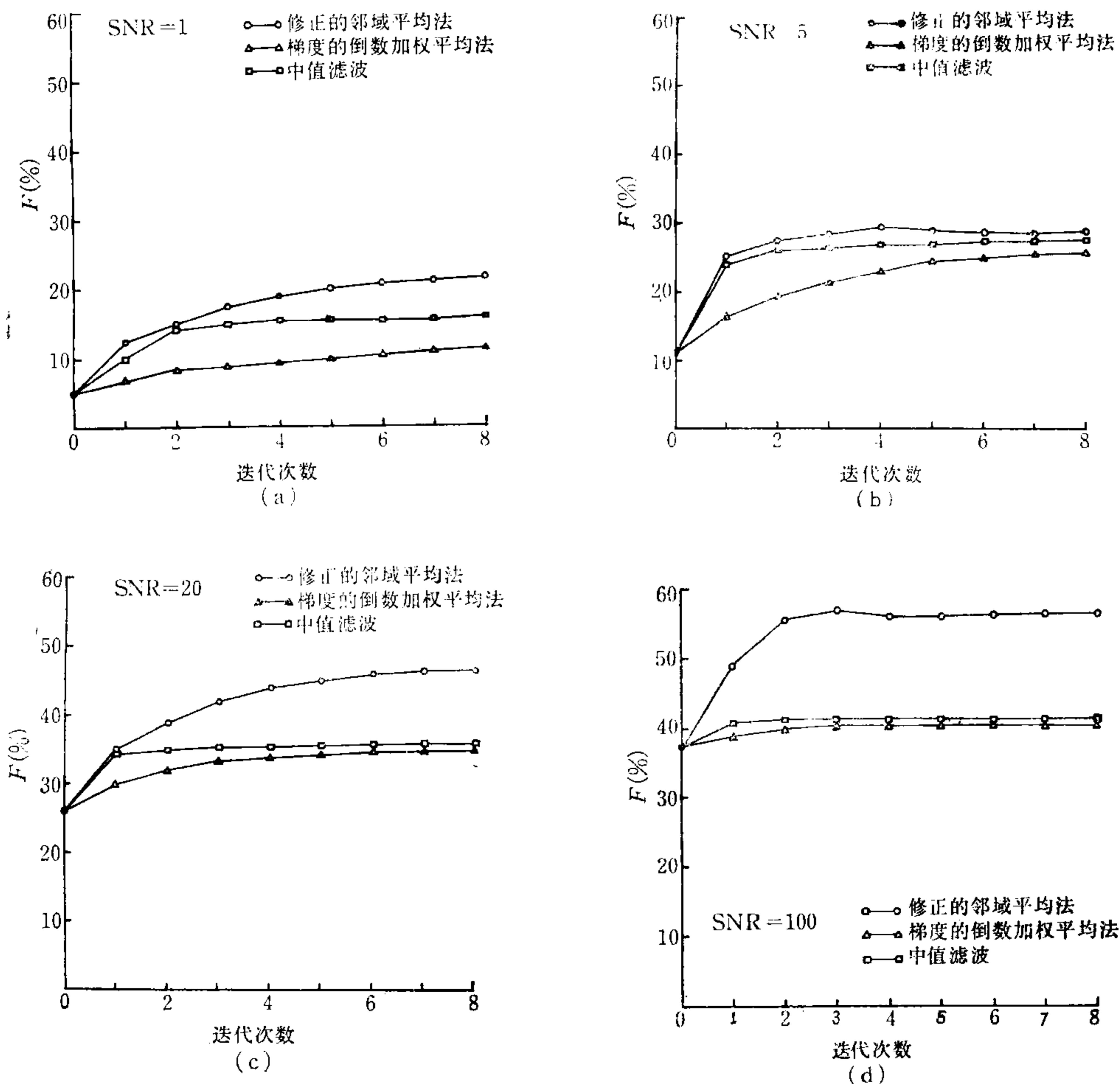


图 3 用不同的平滑方法平滑试验图象的优值

1) 图象的信噪比定义为<sup>[3]</sup>  $SNR = \frac{H^2}{\sigma_h^2}$ .



平滑前的图象。图 3 中还给出了梯度的倒数加权平均法和二维 ( $3 \times 3$ ) 中值滤波的图象优值。从该图中可以看出,采用修正的邻域平均法平滑后的图象优值高于后两种方法平滑后的图象优值。图 4 给出了这三种方法对边缘陡度的影响情况。该图表明修正的邻域平均法能够锐化模糊的图象边缘,而其余的两种方法都会加重边缘模糊的程度。

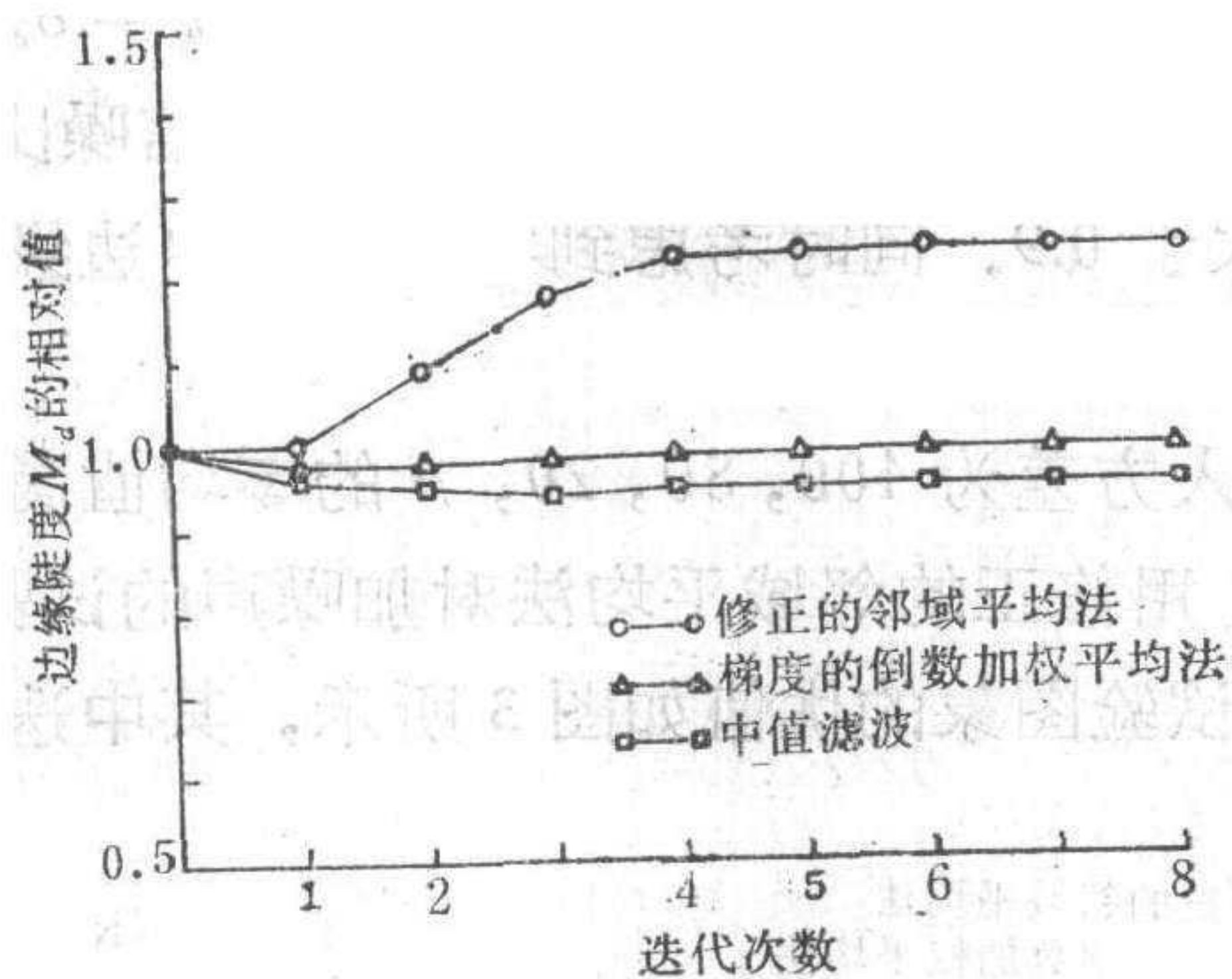


图 4 边缘陡度的变化, SNR = 20

#### 四、应用实例

用修正的邻域平均法作为边缘检测的预处理技术,对实际照片进行了处理。图 5 (a)

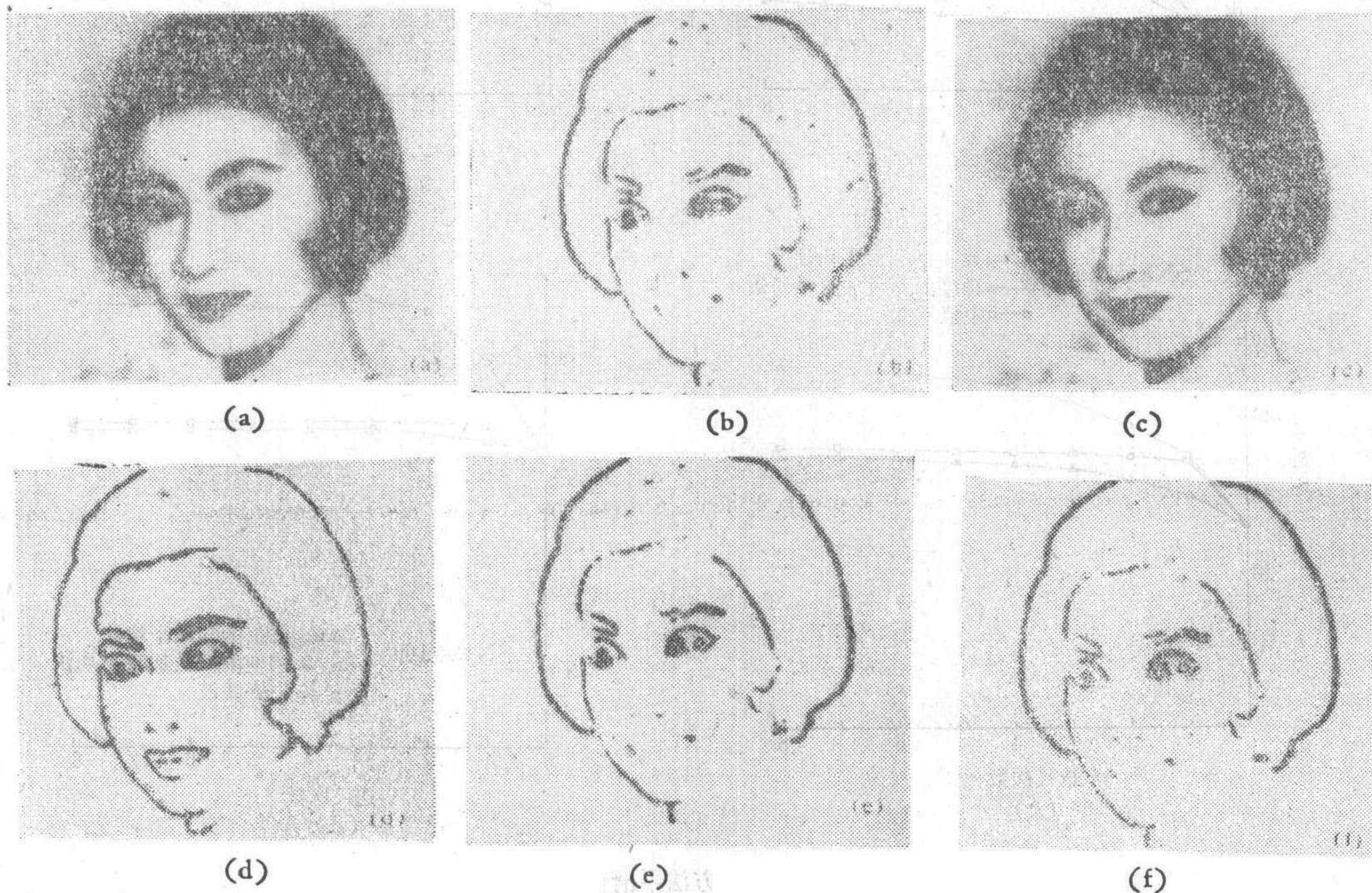


图 5 用不同的平滑方法作为边缘检测的预处理技术的结果。(a)为原始图象;(b)为对图(a)检测边缘的结果;(c)为用修正的邻域平均法平滑图(a)的结果;(d)为对图(c)检测边缘的结果;(e)为用梯度的倒数加权平均法进行预处理后的检测结果;(f)为用中值滤波法进行预处理后的检测结果。



为原始照片,它被数字化为  $256 \times 256$  个象点,256 个灰度级。采用梯度/门限法检测图象边缘的结果如图 5(b) 所示。该图中存在许多噪声点,并且边界线宽而不完整。这说明原始图象已经受到噪声的干扰,其边缘也有些模糊。因而有必要在边缘检测之前对图 5(a) 进行预处理:用修正的邻域平均法进行平滑以及对平滑后的图象进行边缘检测的结果如图 5(c) 和 (d) 所示(其中边缘检测的方法和门限的取值与图 5(b) 中使用的完全相同)。图 5(d) 中无噪声点,边界线窄而完整。

图 5(e) 和 (f) 给出了用梯度的倒数加权平均法、二维 ( $3 \times 3$ ) 中值滤波法两种方法作为预处理步骤的结果。比较图 5(b), (d) 与 (e), (f) 可以看出:梯度的倒数加权平均法对噪声的平滑作用较差,并且不能够锐化图象的边缘。中值滤波的平滑能力较强,但是丢失了某些边缘细节。如果通过降低门限来得到完整的边界线,会进一步加宽已经检测到的边界线,甚至会出现噪声点。此外,修正的邻域平均法所需要的处理时间少于上述两种方法所需的时间。

## 五、结 论

修正的邻域平均法是对邻域均值本身进行修正,而不是改变求平均的权系数或邻域位置。在灰度均匀的区域,这种方法接近于邻域平均法,具有较强的平滑能力;在图象的边缘区域内,它能够锐化模糊的图象边缘。并且能够根据噪声的强弱和图象细节的多少,自适应地调整其平滑和锐化作用。这种方法的计算比较简单,不需要任何预定的参数。但是,它会使理想的阶跃边缘产生轻微的模糊。

为了定量地评价修正的邻域平均法的性能,对计算机产生的试验图象定义了一种图象优值。它既包含噪声方差,又包含图象的边缘陡度。能够比较全面地反映试验图象的质量。性能评价和处理实际图象的结果表明:修正的邻域平均法是一种比较有效和实用的图象平滑方法。用它作为边缘检测的预处理技术能够得到比较好的效果。

感谢山东工业大学电子系王宪伯副教授、陈心海讲师对本文提出了宝贵的意见。同时感谢电子系科研室其他同志的支持和帮助。

## 参 考 文 献

- [1] R. C. 冈萨雷斯, P. 温茨, 数字图象处理, 科学出版社(1981年)。
- [2] A. 罗申菲尔特, A. C. 卡克, 数字图象处理, 人民邮电出版社(1982年)。
- [3] Pratt, W. K., *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, Inc. (1978).
- [4] Wang, D. C. C., Vagnucci, A. H., Gradient Inverse Weighted Smoothing Scheme and the Evaluation of Its Performance, *Computer Graphics and Image Processing*, 15(1981), 167—181.
- [5] Scher, A., Dias, F. R., Rosenfeld, A., Some New Image Smoothing Techniques, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, SMC-10(1980), 153—158.
- [6] Lev, A., Zucher, S. W. and Rosenfeld, A., Iterative Enhancement of Noisy Images, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, SMC-7(1977), 435—442.
- [7] Nagao, M., Matsugama, T., Edge Preserving Smoothing, *Computer Graphics and Image Processing*, 9(1979), 394—407.

## A NEW METHOD FOR IMAGE SMOOTHING AND THE EVALUATION OF ITS PERFORMANCE

WANG DEMIN    WANG QINGLIN

*(Shandong Polytechnic University)*

### ABSTRACT

In this paper, a new method for image smoothing—the modified neighborhood averaging method is presented. With this method, not only the noise can be smoothed efficiently, but also the blurred edge of an image be sharpened. It is simple in computation, requiring no a priori knowledge and predetermined parameters. In order to evaluate the performance of the proposed method quantitatively, a figure of merit for the test image generated by computer is defined and used as a measure of evaluation. The performance of the method is also compared with that of the gradient inverse weighted smoothing method and median filtering by experiments. Finally, processed results of real world images are given.