

图像最佳邻域自适应平滑技术

吕知辛 (山东大学计算机系 250100)

黄尊灵 (山东省高校科技开发中心 250011)

摘要:本文分析了自适应图像平滑算法的原理,指出了该算法在处理图像的边缘和细节部位存在的问题。根据像素在图像内的不同位置,计算出其最佳邻域,最后给出了计算机模拟结果。

关键词:图像平滑 最佳邻域 信噪比 图像熵

引言

图像平滑技术是图像处理领域里十分活跃的课题。为了不断提高图像平滑效果,相继出现了自适应平滑技术[1][2]、加权平均平滑技术[4]等算法,这些算法的一个共同点是在对图像进行平滑滤波时,所有像素采用相同的邻域尺寸,不管像素处在图像的平坦部位、边缘部位还是细节部位。致使这些算法对图像的平坦部位和边缘部位处理效果不能兼顾。能否根据像素在图像中所处的位置,寻找适合这一位置的最佳邻域,利用这一最佳邻域的统计信息对图像进行平滑处理,是图像平滑技术的一个新课题。

1. 图像自适应平滑算法

对于离散图像场,假设图像信号与噪声分量是相叠加的且是相互独立的。

$$g(i, j) = f(i, j) + n(i, j) \quad (1-1)$$

这里 $g(i, j)$, $f(i, j)$, $n(i, j)$ 分别是图像的灰度值、原始(未叠加噪声)灰度值、噪声值,假设噪声服从正态分布,即:

$$n(i, j) \sim N(0, \sigma_n^2(i, j))$$

以 $\bar{g}(i, j)$, $\bar{f}(i, j)$ 分别表示图像灰度局部平均值、原始图像平均值,由于噪声平均值为 0,则有:

$$\bar{g}(i, j) = \bar{f}(i, j) \quad (1-2)$$

以 $\sigma_g^2(i, j)$, $\sigma_f^2(i, j)$, $\sigma_n^2(i, j)$ 分别为图像的局部方差,原始图像局部方差及噪声方差,有下式:

$$\sigma_g^2(i, j) = \sigma_f^2(i, j) + \sigma_n^2(i, j) \quad (1-3)$$

图像 $g(i, j)$ 经自适应平滑处理后为:

$$f(i, j) = \bar{g}(i, j) + [\sigma_f^2(i, j) / \sigma_g^2(i, j)] * [g(i, j) - \bar{g}(i, j)] \quad (1-4)$$

自适应图像平滑算法在计算像素 (i, j) 的局部均值和局部方差时,每一个像素的邻域 V_{ij} 均取相同的尺寸,即式(1-4)中的加权系数 $k = \sigma_f^2(i, j) / \sigma_g^2(i, j)$ 与邻域 V_{ij} 的尺寸无关。这里定义 k 为像素恢复系数

$$k = \sigma_f^2(i, j) / \sigma_g^2(i, j) \quad (1-5)$$

将公式(1-3)代入公式(1-5),得:

$$k = (\sigma_g^2(i, j) - \sigma_n^2(i, j)) / \sigma_g^2(i, j) = 1 - \sigma_n^2(i, j) / \sigma_g^2(i, j) \quad (1-6)$$

由此可以看出,恢复系数 k 在噪声方差一定的条件下,随图像方差的增大而单调增大。

在图像的平坦(fated)区域, $\sigma_n^2(i, j)$ 相对较小, k 值较小,用公式(1-4)平滑后,图像灰度值是对局部均值做较小的恢复,或不恢复($k=0$ 时);而对应于图像的边缘区域, $\sigma_n^2(i, j)$ 较大, k 值也较大,则对局部均值做较大的恢复,这就是自适应平滑原理。

2. 图像的最佳邻域自适应平滑算法

本节试图在图像边缘区域,对由于局部均值造成的边缘模糊效应做极大恢复。

由于整个图像场为非平稳随机场,而在滤波过程中,以局部集均值(或方差)代替统计均值(或方差),而局部集统计量随局部尺寸而变化,从而导致恢复系数 k 也随邻域 V_{ij} 的尺寸 C 而变化。

$$k = k(C) \quad (2-1)$$

这里 C 为邻域尺寸。

选择使 $k(C)$ 取极大值的最小 C 值作为计算局部集统计量的最佳尺寸 C_{opt} 。由于 k 随 $\sigma_g^2(i, j)$ 单调变化, C_{opt} 也使 $\sigma_g^2(i, j)$ 取得极大值。当方差极大值是由噪声引起时, k 值较小,公式(1-4)第一项局部均值为最佳区域的局部均值,而第二项仅做较小的恢复;当方差极大值是由图像边缘引起时,公式(1-4)第一项对噪声进行最佳区域平滑的同时,第二项对模糊的边缘做极大恢复,从而有效地平滑噪声而保护图像边缘。

3. 图像平滑处理前后图像质量分析

本文采用两种方法——图像信噪比及噪声图像熵,来衡量图像处理前后的图像质量。

(1) 图像信噪比。 V_{art} 为原始图像 $(f(i, j))$ 方差, V_{artN}

为噪声图像(n(i, j))方差, 图像信噪比定义为

$$S/N = 10 \lg(V_{arI}/V_{arN}) \quad (3-1)$$

实际计算机模拟时, V_{arN} 为处理后图像((f(i, j))与原始图像(f(i, j))之误差图像(即噪声图像)的方差。

(2) 噪声图像熵。熵表明信息的不确定性。熵越大表明不确定性越大。这里用噪声图像熵评价图像的不确定性, 从而间接地反映了图像的平滑效果。

设噪声图像灰度的概率密度含数为 $P(t)$, 则噪声图像熵为:

$$E_{nt} = - \int_p^+ \infty (t) \log_2 P(t) dt \quad (3-2)$$

由于图像灰度为离散场, $P(t)$ 亦为离散函数, 则式(3-2)变为:

$$E_{nt} = - \sum_p^{255} P(K) \log_2 P(K) \quad (3-3)$$

(3) 计算机模拟。为了验证各种图像平滑技术的效果, 将一幅 256 X 256 的图像加入方差为 100 的高斯(0, 100)噪声。在像素(i, j)周围 5 X 5 的邻域里计算像素的最佳邻域 $C_{opt} \times C_{opt}$ (为减少处理时间, 将计算邻域最大尺寸限定在 5 X 5), 对图像进行最佳邻域自适应平滑处理; 而对其他图像平滑算法, 在像素的 3X3 的邻域里进行平滑处理, 根据平滑后的图像与原始图像之误差图像, 计算出平滑后图像的信噪比及误差图像熵。

· · ·
· · (i, j) · ·
· · ·

像素(i, j)邻域 V_{ij}

下表给出了各种处理算法后的图像信噪比及噪声图像熵:

	原始图像	J. S. Lee 自适应算法	梯度倒数算法	最佳自适应算法
S/N(dB)	7.3	9.79	8.83	12.00
Ent	6.18	5.95	6.05	5.75

实验结果表明, 用图像信噪比衡量图像质量与用噪声图像熵衡量图像质量是一致的, 图像信噪比越大, 噪声方差越小, 图像的不确定性就越小, 噪声图像熵也越小。

参考文献

- [1] J. S. Lee, Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-2 No. 2, Mar. 1980.
- [2] J. S. Lee, Refined noise filtering using local statistics, CVGIP Vol. 15, pp. 380-389, 1981.
- [3] P. Chan, J. S. Lim, One-Dimensional processing for Adaptive Image restoration, IEEE Trans. Acoustic Speech Signal Processing, Vol. ASSP-33, No. 1.
- [4] D. D. C Wang et al, Gradient-inverse weighted smoothing scheme and the evaluation of its performance, CVGIP Vol. 15, pp. 167-181, 1981.

(来稿时间: 1998年2月)