

图像恢复 图像处理学 盲图像 数学模型

70-72

一种新的盲图像恢复方法^{*}

A New Algorithm for Blind Image Restoration

刘杰平 余英林

(华南理工大学电子与通信工程系 广州 510641)

TP391.41

Abstract This paper makes an improvement on NAS-RIF blind image restoration algorithm proposed by Kundur. A zero phase FIR is applied to NAS-RIF algorithm, and center weighted value of FIR coefficients is increased, which enhances high-frequencies. Experimental results show that the restored image quality is much improved.

Keywords Blind image restoration, Zero phase FIR, NAS-RIF

1 引言

图像恢复是图像处理学的重要领域。图像恢复的基本任务就是改善观察图像(退化图像)的质量,尽可能恢复退化图像的本来面目。退化可能是由于相机与物体间的相对运动、散焦、大气湍流等原因造成的,因此需弄清图像的退化原因,建立相应的数学模型——退化模型,一般称为点扩展函数(PSF),根据已知的扩展函数和原图像的某些先验知识,从退化图像中对原图像做最佳的估计。对于退化模型已知的图像恢复文献报道已有许多种方法,其基本运算就是解卷积或求逆,存在的问题是所求的逆不是唯一的或者说是病态的。然而,在许多实际情况下,图像的退化模型是未知的,而且有关原图像的先验知识很少或根本没有,只能从退化图像恢复原图像,这种仅利用退化图像和部分或根本没有原图像的先验知识恢复图像的方法称为盲图像恢复或盲解卷。由于可以利用的先验知识非常少,盲图像恢复是困难的,但它有着较强的应用背景,因此盲图像恢复的研究引起越来越多学者的兴趣,并不断取得进展^[1~4]。最近,由 Kundur 和 Hatzinakos^[5]提出 NAS-RIF(nonnegativity and support constraints recursive inverse filtering)算法进行解卷,这种方法克服了迭代盲解卷(IBM)^[1]收敛性差和模拟退火(SA)^[2]方法计算复杂的不足。本文对 NAS-RIF 算法进行了改进,采用零相位 FIR,并利用对 FIR 系数的约束,增大系数模板中心像元的加权值,达到进一步增强高频的目的,实验结果与 NAS-RIF 算法比较,盲图像恢复的效果

更好。

2 图像退化模型和图像恢复基本方法

图像退化系统模型如图1所示。

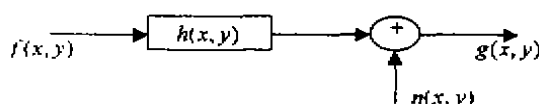


图1 图像退化系统模型

用数学形式表示为:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y) \quad (x, y) \in \Omega \quad (1)$$

其中 $\Omega \subset \mathbb{R}^2$ 是图像的集, $f(x, y)$, $g(x, y)$, $h(x, y)$ 和 $n(x, y)$ 分别表示原图像、观察(退化)图像、退化函数(PSF)和加性噪声,“*”表示卷积运算,若忽略噪声(1)式可改写为:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) \quad (x, y) \in \Omega \quad (2)$$

若已知 $h(x, y)$, 恢复图像问题实际上就是解卷积,这就是图像恢复。典型的图像恢复方法有逆滤波法、Wiener 滤波法、奇异值分解法等多种方法。但在许多情况下, $h(x, y)$ 是未知的,而且有关原图像的先验知识很少,只能从 $g(x, y)$ 中恢复图像,这种图像恢复称为盲图像恢复。显然盲图像恢复是困难的。

3 NAS-RIF 算法介绍

NAS-RIF^[5]算法实质上是一个自适应滤波器系统,组成方框如图2。

*)国家自然科学基金和广东省科学基金资助项目,刘杰平 讲师,在职硕士生,主要研究方向为图像处理,余英林 教授,博士生导师,主要从事信号处理、图像处理、模式识别、神经网络等工作。

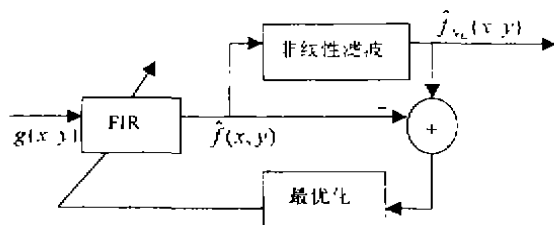


图2 NAS-RIF 组成方框图

退化图像 $g(x,y)$ 做可变系数 $u(x,y)$ FIR 的输入, 滤波器的输出 $\hat{f}(x,y)$ 表示原图像的估计, 自适应滤波器的期望输入由 $\hat{f}(x,y)$ 经过一个非线性滤波器产生, 对图像的约束均附加到非线性滤波器中, 代价函数定义为:

$$J = \sum_{(x,y)} [\hat{f}_{NL}(x,y) - \hat{f}(x,y)]^2 + \gamma \left[\sum_{(x,y)} u(x,y) - 1 \right]^2 \quad (3)$$

其中: $\hat{f}(x,y) = u(x,y) * g(x,y)$

$$\hat{f}_{NL}(x,y) = \begin{cases} \hat{f}(x,y) & \hat{f}(x,y) \geq 0 \text{ 且 } (x,y) \in D_{sup} \\ 0 & \hat{f}(x,y) < 0 \text{ 且 } (x,y) \in D_{sup} \\ L_B & (x,y) \in \bar{D}_{sup} \end{cases}$$

D_{sup} 表示包括原物体在内的最小矩形框, L_B 表示图像背景灰度值, “*” 表示卷积运算, (3) 式中的第二项约束 $u(x,y)$ 远离无意义的解。

从(2)式可知, 如果没有 $h(x,y)$ 和 $f(x,y)$ 的任何先验知识的话, 恢复图像是不可能的。因此, 各种盲图像恢复方法都对 $h(x,y)$ 和 $f(x,y)$ 做一定的假设, 在 NAS-RIF 方法中做如下假设: (1) 图像退化系统是线性移不变系统; (2) 原物体全部包含在 D_{sup} 内; (3) 图像背景是均匀灰、黑或白色; (4) 原图像是非负的, 且 D_{sup} 已知, PSF 也是非负的; (5) 原图像和 PSF 都是不可约的; (6) PSF 的逆存在, PSF 和它的逆都是绝对可求和的。

4 改进的 NAS-RIF 算法

4.1 零相位 FIR 减少图像失真的原理

对文[5]中的 FIR, 我们采用零相位 FIR, 消除由滤波器带来的相位失真, 减少图像的线条和边缘失真。

(1) 零相位 FIR 定义^[6] 具有纯实的频率响应的滤波器称为零相位滤波器。零相位条件:

在频域中可表示为: $H(\omega_1, \omega_2) = H^*(\omega_1, \omega_2)$

在空域中可表示为: $h(n_1, n_2) = h^*(-n_1, -n_2)$

(2) 零相位 FIR 减少图像失真的原理 FIR 冲击响应的傅里叶变换为:

$$H(\omega_1, \omega_2) = \sum \sum h(n_1, n_2) \exp(-j\omega_1 n_1 - j\omega_2 n_2)$$

用矢量符号表示可改写为:

$$H(\omega) = \sum \sum h(n) \exp(-j\omega n) \quad (4)$$

其中 $\omega = (\omega_1, \omega_2)^T$, (4) 式用幅频特性和相频特性表示为:

$$H(\omega) = |H(\omega)| \angle \varphi(\omega) = |H(\omega)| e^{j\varphi(\omega)} \quad (5)$$

显然, 具有(5)式频率响应的滤波器, 不仅会有选择地放大或衰减输入信号的某些频率分量, 而且对不同的频率分量将产生不同的附加相移。对于输入的图像信号而言, 附加相移将使正确排列的频率分量产生色散, 图像的线条和边缘产生失真。

在(5)式中, 若 $\varphi(\omega) = 0$, 即零相位响应, 就可以消除由滤波器带来的相位失真, 从而减少图像的失真。

4.2 图像增强

图像经退化系统变模糊, 是因为图像的细节丢失, 即图像频谱中的高频分量经退化系统被衰减, 因此, 在一定程度上可以说图像恢复就是要提升退化图像频谱中的高频分量。图2中的 FIR 起高通滤波的作用, FIR 的系数决定滤波增益, 滤波增益的大小对图像恢复的效果起决定作用。增益太小, 对图像频谱中的高频分量不能有效地提升, 图像的细节结构不能很好恢复; 增益太大, 又可能放大噪声, 欲使上述两方面得到较好的折衷, 本文在每次迭代中, 对 FIR 的系数 $u(x,y)$ 有如下约束: $\sum_{(x,y)} u(x,y) = 1$, 利用上述约束, 只增大 FIR 系数中心像元的加权值, 使滤波增益恰当提高, 增强图像的高频分量, 又不放大噪声。

5 实验结果和分析

本文所用原始图像为黑白二值图像和256灰度级的灰度图像。

5.1 二值图像的恢复

图3为二值图像“车牌”的恢复结果。其中图3(a)为原始图像, 图3(b)为经过高斯模糊的退化图像, 采用 NAS-RIF 算法的恢复结果见图3(c), 图3(d)所示是用改进的 NAS-RIF 算法的恢复结果, 可见恢复图像的边缘和线条较图3(c)更清晰。

5.2 灰度图像的恢复

对灰度图像的恢复, 从主观和客观两方面来评价灰度图像的质量, 以(6)式的峰值信噪比 PSNR 为客观指标。

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f(i,j) - \hat{f}(i,j))^2} \quad (6)$$

采用 128×128 , 256 灰度级的 “bird” 图像进行实验, 原始图像如图4(a)所示, 图4(b)是经过高斯模糊的退化图像, 采用本文所述的改进算法, 恢复结果如图4

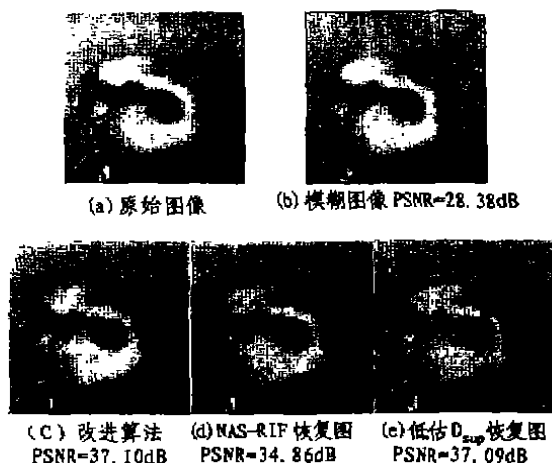


(a) 原始图像 (b) 模糊图像 (c) NAS-RIF 恢复图



(d) 改进算法恢复图 (e) 低估 D_{sup} 恢复图

图3 二值图像恢复结果



(c) 改进算法 PSNR=37.10dB (d) NAS-RIF 恢复图 PSNR=34.86dB (e) 低估 D_{sup} 恢复图 PSNR=37.09dB

图4 灰度图像恢复结果

(由于图4系扫描输入,灰度图像有一定失真)

(c), 图像得到较好恢复, PSNR 提高了 8.72dB, NAS-RIF 算法恢复结果如图 4(d), 图像的 PSNR 仅提高 6.46dB。

5.3 低估包含原物体矩形框的恢复结果

在文[5]中,若低估包含原物体的最小矩形框,将无法恢复图像;用本文的改进算法,低估图像“车牌”为 10×60 (实际是 16×63) 和图像“bird”为 56×66 (实际是 90×100), 恢复图像分别见图 3(e) 和图 4(e), 仍得到较好的恢复图像。

可见,采用本文所述的改进算法,包含原物体矩形框的大小不要求确切已知,恢复效果好。

参考文献

- 1 Ayers G R, Dainty J C Iterative Blind Deconvolution Method and its Applications. Optics Letters, 1988, 13(7): 547~549
- 2 McCallum B C. Blind deconvolution by simulated annealing. Optics Communications, 1990, 75(2): 101~105
- 3 Laane R G. Blind deconvolution of speckle images J Opt Soc Am A. , 1992, 9(9): 1508~1514
- 4 Chan T F, Wong C K. Total Variation Blind Deconvolution. IEEE Trans. on Image Processing, 1998, 17(3): 370~375
- 5 Kundur D, Hatzinaikos D. A Novel Blind Deconvolution Scheme for Image Restoration Using Recursive Filtering. IEEE Trans. on Signal Processing, 1998, 46(2): 375~390
- 6 Dudgeon D E, Mersereau R M. Multidimensional Digital Signal Processing. Prentice-Hall. 1984

(上接第 25 页)

主要收获是:

1. 了解和掌握了软件领域国际最新发展和动态。软件技术特别是最为引人注目的自由软件与嵌入式软件是计算机领域的研究热点,从事该方向的研究人员众多,发展也非常迅速。这次会议我们特别邀请到了自由软件的创始人 Richard Stallman 博士和嵌入式系统的知名学者作特邀报告和专题讲座,会议录用文章作者也来自五湖四海,通过和这些学者的面对面的交流和相互学习、研讨,了解和掌握了软件技术领域在自由软件、嵌入式系统、XML 技术、Agent 技术、Java 技术等各方面的研究成果和发展动态,这对指导我们进一步的科研工作具有重要的意义。

2. 加强了学术交流,建立了新的科研合作渠道。计算机技术发展一日千里,广泛而深入的学术交流和作是计算机领域科研工作的重要环节。该次国际会议为我系我室乃至我国软件领域研究人员提供了一个非常良好的国际交流和合作的机会,就我系我室而言,通

过该次会议,我们结交了众多的海内外朋友,探讨了软件技术的最新进展和动态,更为有意义的是,我们结合重点实验室的对外开放的契机,在会议期间选择了部分工作较为出色的海外作者,和他们进行了深入的讨论,并最终建立了长期、稳定的科研合作项目和渠道。

3. 扩大了南京大学计算机软件新技术国家重点实验室、南京大学计算机系、南京大学及南京的知名度和影响。南京大学计算机系及南京大学计算机软件新技术国家重点实验室在中国计算机软件领域具有一定的知名度和影响力,这次会议是自我系成立及重点实验室建立以来举办的比较大型的国际会议,会议期间,我们通过各种渠道,系统地介绍了我系、我室的研究方向、科研成果,吸引了与会各国代表的关注和好评。此外,会议期间我们细致、认真的会务工作也展示了我们的工作作风和中华民族的好客之道,受到了各国与会代表的一致称赞。这次会议的成功举办,在学术上和其他方面扩大了我系、我室、我校的影响,提高了知名度。