

一种基于三角形网格的图像分块盲复原算法^{*})

邓莉 鲁瑞华

(西南大学电子信息工程学院信号与信息处理研究所 重庆 400715)

摘要 针对图像分块方法恢复空间移变降质图像时存在严重的边界噪声,以及采用传统遗传算法进行图像盲复原时运算量大的问题,提出一种基于三角形网格的图像分块盲复原算法。根据图像的退化情况采用三角形网格划分图像子块,并利用微种群遗传算法和传统遗传算法交替进化的方式分别估计各图像子块以及各子块区域中点扩散函数的参数,同时对各图像子块的重叠部分进行边界修正。实验结果表明,与传统的图像分块遗传算法相比,该算法的运行时间和复原图像的边界寄生波纹都大为减少,图像的恢复质量有明显提高。

关键词 三角形网格,图像分块,盲复原,空间移变降质,微种群遗传算法

Image Blocking Blind Restoration Method Based on the Triangle Meshes

DENG Li LU Rui-hua

(Institute of Signal and Information Processing, School of Electronics and Information Engineering, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract Aiming at the high boundary noise caused by blocking method for image restoration of space-variant blurs, as well as the large computation cost of conventional genetic algorithm for blind image restoration, an image blocking blind restoration method based on the triangle meshes is proposed. The image blocks are divided by the triangle meshes according to the image degradation. The micro population genetic algorithm and the conventional genetic algorithm are alternately used to estimate the image blocks and the parameters of their point spread functions. The boundaries of image blocks are also mended in the overlaps. Experiment results show that the presented method is much faster than the conventional blocking genetic algorithm, the parasitic ripples are obviously reduced, and the quality of the recovered image is enhanced visibly.

Keywords Triangle mesh, Image blocking, Blind restoration, Space-variant blurs, Micro population genetic algorithm

1 引言

一般由成像系统获得的图像信号都会受到系统特性的影响,图像复原的目的就是尽量消除系统的非理想性能对图像信号的降质^[1]。系统的降质过程由系统的点扩散函数来描述,它可分为空间不变和空间移变两种形式,在实际问题中图像的降质过程通常是空间移变的。目前针对移变降质的复原方法有坐标变换法、图像分块法以及直接恢复法。其中图像分块是将整幅图像按降质情况划分为若干子块,并假定各子块的降质是空间不变的。在此前提下利用各种算法将其逐一恢复,如维纳滤波法、卡尔曼滤波法和遗传算法等。这种分块处理方式简捷有效,但由于它对空间移变降质采取了近似处理,容易造成图像分块边界的畸变和寄生噪声^[2,3]。另外,在许多应用领域中图像的降质过程都是未知的,因此在复原过程中还需对系统的点扩散函数进行估计,即所谓的盲复原问题,这就更增加了图像复原的难度和运算量^[3]。

鉴于此,本文提出一种基于三角形网格的图像分块盲复原算法,通过提取降质图像的特征点生成图像所对应的三角形网格,并将各三角形关联面片中具有相似峭度的三角形组合成不规则的图像子块,然后利用微种群遗传算法和传统遗传算法交替进化的方式分别估计各图像子块及其点扩散函数的参数,同时对各子块的重叠区域进行边界修正。与传统的

图像分块遗传算法相比,该方法复原图像的分块边界更加平滑细腻,寄生波纹大为减少,图像的恢复质量有明显改善,同时由于微种群遗传算法估计图像子块使运算量大为减少,因而算法的运行速度也有很大提高。

2 基于三角形网格的图像分块盲复原算法

2.1 图像的空间移变降质模型

图像的空间移变降质过程可用如下叠加积分来描述^[4]:

$$g(x, y) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} h(x, y; \xi, \eta) f(\xi, \eta) d\xi d\eta + n(x, y) \quad (1)$$

式中 (ξ, η) 和 (x, y) 分别是物平面和像平面的二维坐标, $n(x, y)$ 为加性观测噪声, $f(\xi, \eta)$ 为原始图像。 $g(x, y)$ 为降质图像。 $h(x, y; \xi, \eta)$ 是空间移变的点扩散函数,它的大小随物点的空间坐标的改变而变化。造成图像空间移变降质的原因有很多,但是综合成像系统的诸多因素,在多数情况下选择高斯型点扩散函数来描述系统的降质更符合实际,其定义表示如下^[5]:

$$h(x, y; \xi, \eta) = r(\xi, \eta) e^{-\alpha(\xi, \eta)(x-\xi)^2 + \beta(\xi, \eta)(y-\eta)^2} \quad (2)$$

$$(\xi, \eta) \in S_1, (x, y) \in S_2$$

其中 S_1, S_2 是物平面和像平面的限制域, $r(\xi, \eta)$ 是归一化系数, $\alpha(\xi, \eta), \beta(\xi, \eta)$ 是物平面坐标 (ξ, η) 的函数。

^{*}) 校发展基金项目(SWNUF2004006)。邓莉 硕士研究生,主要研究方向为信号与信息处理;鲁瑞华 教授,硕士生导师,CCF高级会员,主要研究方向为信号与信息处理及数字通信。

2.2 基于三角形网格的图像分块方法

由于空间移变降质图像各部分的清晰程度不一致,因此可根据各部分的退化情况来划分图像子块^[6]。由文献^[7]所述的“中心极限定理”可知,图像的降质过程会造成相邻像素间的相互关联,从而使图像信号的高斯性增强,并且降质程度越高,图像信号越趋于高斯分布。衡量信号偏离高斯性程度的一种标准是峭度,它的归一化形式为^[8]

$$kurt(y) = \frac{E\{|y|^4\}}{E^2\{|y|^2\}} - 3 \quad (3)$$

本文将作为划分图像子块的依据。首先采用 Moravec 算子分割图像的前景和背景^[9]。对于前景区域,在小范围内寻找最高方差点作为特征点,而对背景区域则在大范围内寻找最高方差点作为特征点,然后用这些特征点作为顶点,由 Delaunay 算法生成降质图像的三角形网格。由于网格中每个顶点都与一个由它本身及其相邻顶点所组成的多边形面片相关联,则每个三角形也就对应着一个由它的各顶点关联面片所组成的三角形集合。选择集合中与该三角形的峭度差值小于一定阈值的其它三角形,共同组成它们所对应的图像子块。这种方法得到的相邻图像子块会有不同程度的重叠,因此将各图像子块采用 2.3 节所述方法恢复后还需对其重叠部分用带权系数相加的方式进行修正,以进一步消除边界噪声和寄生波纹。若待处理子块完全包含于已处理的图像区域,则放弃进化该子块,以提高运算速度。

2.3 基于微种群遗传算法的盲复原方法

遗传算法是一种模拟生物进化过程形成的自适应全局优化概率搜索算法,它适用于处理如图像复原等传统搜索算法难以解决的非线性问题。但是,由于遗传算法运算复杂度高、局部搜索能力差的弱点,限制了其优势的发挥^[10,11]。1997年, E. G. Johson 等人将微种群遗传算法成功用于解决图像的盲解卷积问题,使遗传算法摆脱了这一尴尬境地^[12]。

微种群遗传算法和传统遗传算法相比,种群规模较小,一般只有 5 个个体。在进化过程中,根据代价函数值的高低去掉一个最差个体,剩余 4 个在进行交叉操作后选出当前最优个体。若判断收敛条件不满足,则变异该最优个体,以产生 4 个新个体,并与该最优个体共同组成下一代种群,开始新一轮进化,否则输出当前最优个体。该变异方式补偿了小规模种群带来的多样性缺乏,同时在搜索全局解时起到一定的微调作用。因此,本文采用这种遗传算法来恢复各图像子块,而对它们的点扩散函数,由于其近似为空间不变,可采用统一的空间不变高斯点扩散函数来代替,如下式所示^[7]。

$$h(x, y; \sigma) = C \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

式中 C 为常数,则在盲复原过程中只需估计其参数 σ 即可。由于降质图像各部分的退化情况差异较大, σ 的可能范围也有所不同。从种群多样性角度考虑,采用传统遗传算法估计 σ 更合适。另外,考虑到 σ 的收敛速度明显快于图像子块,因此将两种遗传算法交替进行,以提高运算效率。即轮流更新各自的最佳估计值,并将其值代入对方的进化过程,参与对方最佳估计值的生成,并在每次更新后进行收敛条件判断。若条件满足,则输出各自的当前最佳估计值,否则继续循环更新。

3 实验仿真

本文将 256×256 的 Lena 灰度图像图 1(a) 通过式(1)的空间移变后得到降质图像图 1(c), 其中观测噪声选用不同方

差的高斯白噪声,并用文献^[13]定义的模糊信噪比 BSNR 来衡量。然后采用传统的图像分块遗传算法对降质图像进行盲复原。各图像子块均为 16×16 大小的矩形块,各子块及其点扩散函数的参数都采用传统遗传算法估计,种群规模设为 30,最大遗传代数设为 50。图 1(c) 是该方法在 BSNR 为 20dB 时的复原结果。同时用本文提出的基于三角形网格的图像分块盲复原算法对降质图像进行恢复,图 1(d) 是降质图像的三角形网格。在此基础上进行如上文所述的图像分块和盲复原,其中在使用传统遗传算法估计点扩散函数时各参数的设置与前一种方法相同。图 1(e) 是本文算法在 BSNR 为 20dB 时的复原结果,表 1 则列出了 BSNR(dB) 分别为 20, 30, 40 和 50 时两种方法的改善信噪比 ISNR(dB)^[13] 和运行时间 time(s)。



图 1 BSNR 为 20dB 时两种方法的复原结果

表 1 不同 BSNR 时两种方法的复原结果

BSNR	传统方法		本文算法	
	ISNR	time	ISNR	time
20	1.0632	2091	3.6608	1049
30	1.0822	1848	3.8442	1001
40	1.1087	1793	4.7017	966
50	1.1099	1695	4.8482	955

比较两种方法的复原结果可知,在不同 BSNR 时,本文算法复原结果的 ISNR 都明显优于传统的图像分块遗传算法。在 BSNR 低到 20dB 时,前者的 ISNR 高于后者 3 倍以上,并且图像的细节更清晰细腻,边界噪声明显减少,算法的运行速度也较后者提高了近 1 倍。

结束语 由上述实验可知,本文方法可以有效去除图像分块带来的寄生波纹,图像的恢复质量较好。同时,由于采用微种群遗传算法估计图像子块,降低了运算复杂度,从而使算法的运算速度有较大提高。不过,该方法只针对一类空间移变降质模型,不具有普遍性。在今后的工作中将致力于研究降质模型未知且多样情况下的盲复原方法,同时考虑将算法与并行方法结合,进一步提高运算效率。

参考文献

- [1] Wen Yu-mei, Li Ping. The Image Inverse Filtering with Polynomial Approximation and the Image Recovery in Spatially Variant Systems. *Journal of Image and Graphics*, 2003, 8(9): 1021-1027
- [2] Li Yong, Li Ping, Wen Yu-mei. Constrained Least-Square Restoration of Space-variant Blurs Resulting from Optical Imaging Systems. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(8): 1180-1187
- [3] Guo Y P, Lee H P, Teo C L. Blind Restoration of Images Degraded by Space-variant Blurs Using Iterative Algorithms for Both Blur Identification and Image Restoration. *Image and Vision Computing*, 1997, 15(5): 399-410
- [4] Costello T P, Mikhael W B. Efficient Restoration of Space-variant Blurs from Physical Optics by Sectioning with Modified Wiener Filtering. *Digital Signal Processing*, 2003, 13: 1-22

(下转第 254 页)

各视点间 B 帧互不参考,这样就在很大程度上避免了由于视点间的预测引起的误差积累。另外,各视点的编解码只以主路视点为预测前提,其它各视点互不影响,有利于提高随机访问性能。

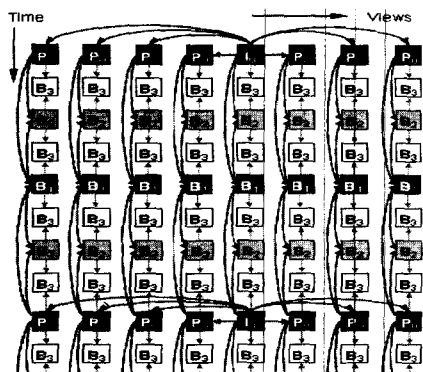


图4 本文方案

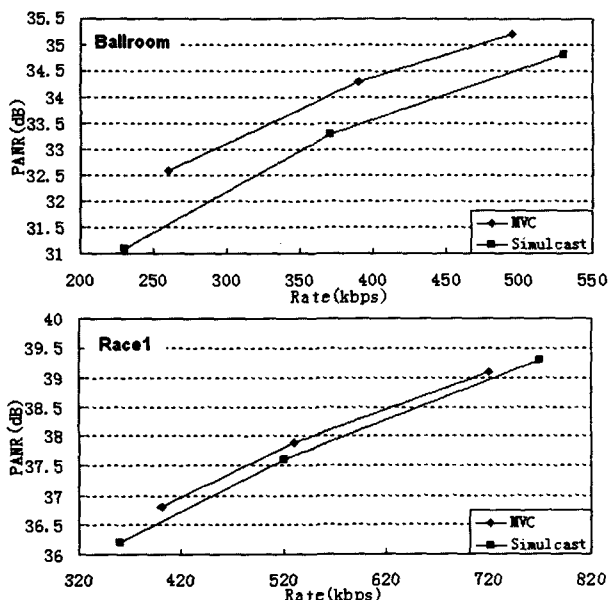


图5 率失真性能比较

本文在 H. 264/AVC 的 JM9.0 校验模型中验证方案的有效性,分别对 Ballroom 和 Race1 两个多视点测试序列进行编码实验。实验采用的测试序列 Ballroom 和 Race1 均由 8 路水平照相机阵列采集,其中 Ballroom 由 MERL 提供^[10],其相邻相机间距 19.5cm,帧率 25 帧/秒,分辨率 640×480,视点间内容相似程度较高;Race1 由 KDDI 提供^[11],其相邻相机间

距 20cm,帧率 30 帧/秒,分辨率 320×240,场景内容较为复杂。两个测试序列分别反映方案环境良好和较差时的编码性能。实验得到的率失真曲线如图 5 所示,图中将本文方案与联播方案进行了性能对比,MVC 表示本文方案,Simulcast 表示联播方案。从图中可以看出,本文方案对于视点相关性较强的序列,可以获得比联播方案约 1dB 的增益;对于视点间相似度较低的序列,也能获得 0.2dB~0.4dB 的增益。实验结果表明,本文的方案对于视点相关性较低的图像序列,在相同码率条件下,峰值信噪比提升明显;对于视点间相关性较高的运动图像序列,编码性能则更加理想。

结束语 本文提出一种新的可在 H. 264/AVC 下实现的多视点编码方案,应用视差估计的压缩算法,通过时空联合预测编码和分级 B 图等途径,在兼顾较高压缩比的同时,有效提高了随机访问性能。

本文采用运动补偿和视差估计作为联合预测编码算法,虽然易于实现,但编码效率在很大程度上依赖于摄像机的空间采集密度,编码性能不稳定。此外,对于由于网络条件的限制带来的视点可分级问题,以及面向实时交互应用带来的低延时问题,都是我们下一步将要研究的内容。

参考文献

- [1] Matusik W, Pfister H. 3D TV: A Scalable System for Real-Time Acquisition, Transmission and Autostereoscopic Display of Dynamic Scenes. ACM Transaction on Graphics (TOG) SIGGRAPH, ISSN: 07300301, 2004, 23(3): 814-824
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Requirements for 3D AV Coding [C]. DOC. N4795, USA, May 2003
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Call for Proposals on Multi-view V-video Coding [C]. DOC. N7327, Poland, July 2005
- [4] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Joint Multiview Video Model (JMVM) 5.0 [C]. DOC. X207, Switzerland, July 2007
- [5] Flierl M, Girod B. Multi-view Video Compression. IEEE Signal Processing Magazine [J], July 2007
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Call for Evidence on Multi-View Video Coding [C]. DOC. N6720, Palma de Mallorca, Spain, 2004
- [7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Survey of Algorithms used for Multi-view Video Coding (MVC) [C]. DOC. 6909, China, 2005
- [8] Morvan Y, Farin D, de With P H. Acquisition, Compression and Rendering of Multi-view Video [R]// NXP workshop. TU/e, Netherlands, Aug. 2007
- [9] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Hierarchical B pictures [C]. DOC. P014, Poland, July 2005
- [10] ftp://ftp.merl.com/pub/avetro/mvc-testseq
- [11] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. KDDI multi-view video sequences for MPEG 3DAV use [C]. 2004

(上接第 238 页)

- [5] Zhou Mou-yan. Deconvolution and Signal Recovery. Beijing: Defense Industry Press, 2001
- [6] Cheenama T A, Qureshi I M, Hussain A. Blind Image Deconvolution Using Space-variant Neural Network Approach. Electronics Letters, 2005, 41(6)
- [7] Yin Hujun. Blind Source Separation and Genetic Algorithm for Image Restoration // Proceedings of IEEE Conference on Advances in Space Technologies. 2006: 167-172
- [8] Cichocki A, Amari S I. Adaptive Blind Signal and Image Processing. Beijing: Electronics Industry Press, 2005
- [9] Ohm J R, Grüneberg K, Hendriks E, et al. A Realtime Hardware System for Stereoscopic Video Conferencing with Viewpoint

Adaptation. Signal Processing Image Communication, 1998, 14: 147-171

- [10] Chen Yen-wei, Nakao Z, Arakaki K, et al. Restoration of Gray Images Based on a Genetic Algorithm with Laplacian Constraint. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 103: 285-293
- [11] Enolura T, Chen Yen-wei, Nakao Z. A Fast Image Algorithm for Image Restoration Based on a Hybrid GA and SA // Proceedings of IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1999, 4: 891-894
- [12] Jonson E G, Abushagur M A G. Image Deconvolution Using a Micro Genetic Algorithm. Optics Communications, 1997, 140: 6-10
- [13] Banham M R, Katsaggelos A K. Digital Image Restoration. IEEE Signal Processing Magazine, 1997, 14(2): 24-41