

内容相关的分块处理自适应图像对比度增强算法

窦 智 韩玉兵 胡 静 盛卫星 马晓峰

(南京理工大学电子工程与光电技术学院 南京 210094)

摘 要 内容相关的分块处理自适应图像对比度增强算法能够自适应地处理多种降质图像。本算法通过分块分析和处理的手段,更好地利用了图像局部信息和细节信息来对图像进行更加细致的处理;通过建立参数化的增强函数,自动调节增强函数参数,实现针对不同特性的图像生成与之相适合的增强函数曲线的功能;通过对图像子块的内容分析,提取出与增强函数相关的特征,并根据这些特征自动生成与之相适应的增强参数。使用上述方法,无需人工干预就能自适应地处理多种不同降质特性图像。实验结果表明,在无任何人工干预的情况下,本算法对过亮、过暗、逆光、雾霾污染甚至是混合多种性质的复杂图像的增强效果均较为理想,充分体现了算法的广泛适应性。

关键词 对比度增强,分块处理,自适应处理,内容相关

中图法分类号 TP391 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.10.025

Content-based Adaptive Contrast Enhancement Using Overlapped Sub-block Processing

DOU Zhi HAN Yu-bing HU Jing SHENG Wei-xing MA Xiao-feng

(School of Computer Electronic and Optical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract In this paper, a content-based adaptive contrast enhancement using sub-block processing was presented, which can flexibly process a wide range of image with various features. It can meticulously process image by analyzing local characteristics and operating in sub-block. We generated an enhancement function with adjustable parameters, which can be used to process various images flexibly through adjusting the parameters. Instead of adjusting these parameters manually, the proposed algorithm can obtain the reasonable enhancement parameters automatically through extracting the relevant characteristics from local content of image. In this way, various images can be adaptively processed without manual intervention. Experimental results demonstrate that the proposed method can flexibly enhance various images, such as underexposure, overexposure, back-lighted, misted, even mixed several characteristics above and produce ideal enhanced images.

Keywords Contrast enhancement, Overlapped sub-block, Adaptive processing, Content-based

1 引言

图像增强在图像处理领域中有很重要的意义,多年以来一直是该领域的研究热点之一^[1,2]。图像对比度增强通常作为图像处理系统的预处理模块而存在,其输入一般是对比度较低,难以满足后续算法要求的原始图像;其输出则是对比度被提升,达到后续算法要求的增强结果;对比度增强算法就是用某种亮度矫正函数修正原始灰度值的过程^[3,4]。自适应的对比度增强算法的核心在于,它能够通过对图像的特征进行分析、提取并依此自动生成适合具有这些特征图像的矫正函数,来实现对图像有针对性的精确处理^[5,6]。具备自适应能力的图像增强算法越来越多,包括基于内容的多通道低亮图像增强算法(Content-aware dark image enhancement through channel division, CA-CD)^[7]、权重分配自适应伽马矫正的对

比度增强算法(Contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution, AGCWD)^[8],但这些算法尚存在一些问题,比如增强效果微弱、适用性范围较小、对混合多种特性的复杂图像处理效果不佳等。现有的自适应算法都是在整个图像上进行分析和处理,没有很好地利用图像的局部信息,这是自适应能力不佳的原因之一,因此我们引入了一种分块处理算法^[9-11]中局部分析处理的思想,将图像分成若干子块分别进行分析处理,使得局部信息能够得到较好的利用。通过对以 AGCWD 为代表的新生的自适应算法以及其它成熟的对比度增强方法的研究和大量的测试实验,本文提出一种基于内容的图像分块自适应对比度增强算法,它可以较好地解决以上提到的问题,在保证处理效果的同时,仍具备较大的适应范围。

到稿日期:2013-06-15 返修日期:2013-08-16 本文受中国自然科学基金(61171165)资助。

窦 智(1983—),男,博士,主要研究方向为图像增强、图像去噪等, E-mail: 619534345@163.com; **韩玉兵**(1971—),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为视频/图像信号的超分辨率重建、多视点视频编码、信源信道联合信号处理、多输入多输出(MIMO)通信系统、微波系统和天线设计中的优化算法; **胡 静**(1989—),女,硕士,主要研究方向为图像/视频去噪; **盛卫星**(1966—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为阵列天线、智能天线、目标电磁散射特性建模及其应用; **马晓峰**(1981—),男,博士,讲师,主要研究方向为阵列信号处理、软件无线电等。

2 图像子块特征量的提取

图像中蕴含着丰富的信息,从这些信息中可以提取出很多表征图像特征的特征量,通过对这些特征量的分析,就能确定应该采用什么样的增强函数对原图进行处理才能得到理想的增强效果。内容相关的自适应图像增强算法就是一种基于这种机制的对比度增强算法。自适应算法首先要解决的问题就是,要有效地从图像内容中提取出这样的特征量。已有的自适应算法没有很好地利用图像的局部信息特征,亦或没有建立高效的内容驱动参数优化自动调节机制,因此适应能力不高,处理效果难以满足要求。本文提出了一种局部分析处理的算法,该算法从局部信息中提取特征量,生成局部增强函数,并据此对该部分的图像进行增强,以获得更精确的增强结果。

针对某个图像子块,提取子块的平均亮度 m 和对比度 c 作为该区域的特征量:

$$m = \sum_{l=1}^{l_{\max}} \left[\frac{l}{l_{\max}} \cdot pdf(l) \right] \quad (1)$$

$$c = \sum_{l=1}^{l_{\max}} [(1-m)^2 \cdot pdf(l)] \quad (2)$$

其中, $l(l \in [0, 255])$ 是灰度级, l_{\max} 是 l 的最大值, pdf 是子块像素灰度的归一化直方图。

c 表征的是原始图像的对比度,对于对比度越小的图像,增强操作的增益就应该越大。为了使图像的对比度和最终的增强函数增益参数建立有机的联系,引入了一种与对比度相关的参数化的灰度值概率分布函数:

$$pdf'(l) = pdf_{\max} \cdot \left(\frac{pdf(l) - pdf_{\min}}{pdf_{\max} - pdf_{\min}} \right)^{(1+c)} \quad (3)$$

其中, pdf_{\max} 和 pdf_{\min} 分别是一维向量 pdf 中各元素的最大值和最小值, pdf 为归一化离散灰度值概率分布函数:

$$pdf(l) = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [g(i, j) = l]}{M \times N} \quad (4)$$

其中, i, j 分别为像素点在窗内的行坐标和列坐标, M, N 分别为图像子块的宽度和高度,且 $i \in [1, M], j \in [1, N]$ 。在式(3)中,赋予参数 c 不同的值就能得到不同平滑程度的概率分布函数,进而得到不同的增强函数曲线。

3 图像子块特征量的提取

图像对比度增强算法,通常是运用一种矫正函数将图像中原始灰度变换为正常值。算法增强效果的好坏与增强函数有直接关系;若要实现算法的自适应性,必须建立参数化的增强函数,通过调节这些参数来获得处理不同特征图像时理想的增强函数。

本文引入一种参数化增强函数,该函数有 s 和 d 两个可调的增强参数,分别控制增强函数的凸凹性和增益大小,通过调节这些参数,就能得到不同的增强函数曲线。有效地提取图像中与增强参数相对的特征量,并依此给可调参数赋予合理的数值,算法就具备了自适应的能力。该增强函数 f 如下:

$$f(l) = l_{\max} \left(\frac{l}{l_{\max}} \right)^{1+s \cdot \sqrt{d(l)}} \quad (5)$$

在处理亮度偏低的图像时,通常需要用凸函数对其进行处理;而对于过亮的图像应用凹函数处理。式(1)中计算出的图像均值 m 就是图像子块整体亮度特性的表征,因此可以依据此值确定增强函数凸凹性控制参数值:

$$s = \begin{cases} 1, & m \geq 180 \\ -1, & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

对比度较低的图像需要使用较大增益对其进行处理,才能得到理想的增强结果,而对比度高的图像对应的增强增益则应较小。式(3)中定义的特殊灰度概率分布函数提供了一种增益系数和图像对比度关联的机制。通过这种机制,我们定义增益控制参数:

$$d(l) = \frac{\sum_{l=1}^{l_{\max}} pdf'(l)}{\sum_{l=1}^{l_{\max}} pdf(l)} \quad (7)$$

通过以上的方法,我们建立了图像内容和增强参数之间的关系,通过这种关联机制,本算法就能根据图像本身的特征自动调节增强函数的相关参数,生成理想的增强函数曲线。用自动生成的增强函数式(5)处理图像子块中各像素,便可得到增强后的结果:

$$g'(i, j) = f[g(i, j)] \quad (8)$$

4 分块分析和处理

混合了多种特性的复杂图像在工程应用中很常见,比如夜间道路监控中昏暗的路面和迎面行驶车辆大灯灯光的混合图像、逆光采集的图像中高亮背景和低亮目标的混合图像以及雾天采集的高亮雾团和低对比度景物的混合图像等。混合图像的灰度直方图往往呈现多峰特性,对这些复杂图片进行增强处理,欲获取理想的效果并不容易。但如果将图像划分成若干子块,单独对这些子块进行分析处理就能避免在处理混合图像时不同特性区域的相互干扰,有效地提取特征量,得到更为精确的矫正函数,并依此处理图像子块,最后将这些子块合成完整的增强图像,就能得到理想的增强结果。算法的具体步骤如下:

(1) 根据图像尺寸选择适当的子块宽度 M 和高度 N ,一般要求图像尺寸是子块的尺寸的整数倍。

(2) 从左向右、从上向下扫描整个图像,按上文介绍的方法对每个子块分别进行分析、处理并存储处理结果,遍历整个图像,结束扫描。

(3) 每个像素 $pix(i, j)$ 被处理 $M \times N$ 次后得到一个灰度集合 $G_{(i, j)} (M \times N)$,则最终合成的增强结果 $g'(i, j)$ 为:

$$g'(i, j) = \frac{\sum_{l=1}^{M \times N} G(l)}{M \times N} \quad (9)$$

5 实验结果的比较及分析

我们选择曝光正常、曝光不足、曝光过度、逆光以及混合多种特性的复杂图像来测试算法的广泛适应性和灵活性。对每幅图像,分别使用直方图均衡(HE)^[12]、权重分配自适应伽马矫正的对比度增强算法(AGCWD)、基于内容的多通道低亮图像增强算法(CA-CD)以及本文的方法进行处理,并将各自结果进行横向对比。具体实验结果如图1所示。

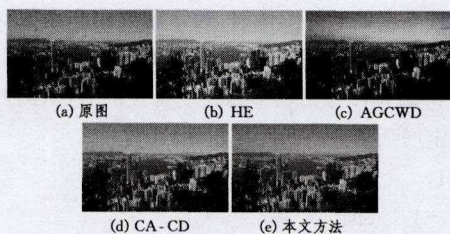


图1 曝光正常的图片

图1展示了一幅正常曝光状态下获取的图片以及经过各个算法处理后的结果,主要用来测试在本无需增强处理的情况下各种算法的输出结果。图1(b)是HE算法的处理结果,由于该算法没有自适应机制,因此增强过程是盲目的,即使图片曝光正常,HE也会以很高的增益增强图像,失真较为严重。由于算法本身的特性,使得处理后的结果常伴有高亮区域的块效应失真,原本灰度连续变化的高亮区域会变得不连续。图1(c)是AGCWD算法的处理结果,这是一种自适应的算法,有一定的自适应能力。但是该算法的增强函数是固定且非参数化的,并且针对整个图像进行分析处理,不考虑局部特征。增强后的图像偏亮,且高亮区域对比度有所损失。图1(d)是CA-CD算法的处理结果,该算法也是自适应的,且通过扫描各像素的邻域像素灰度获取局部信息,并计算出增强函数。从结果可以看出,细节部分有了进一步的提升,整体色彩灰度保持良好,效果比较理想。图1(e)是本文方法,由于原图有着均匀的灰度分布和较高的对比度,因此增强函数的增益系数很低,对细节进行进一步微小的提升,感官上整个图像基本没有变化,说明本算法具有很好的保持能力,效果明显优于图1(b)、图1(c)、图1(d),与图1(e)基本相当。

图2展示了一幅曝光不足状态下获取的图片以及经过各个算法处理后的结果,主要用来测试在图像偏暗情况下各种算法的处理效果。图2(b)和图2(c)存在着同样的问题,暗部细节得到了明显的提升,但高亮部分的平均亮度也被提升,分辨率有所下降;图2(d)中,亮部和暗部的分辨率均有小幅提升,但是增益偏小,增强效果不佳;图2(e)的总体效果仍是最好的,暗部细节提升明显,亮部保持得相对比较理想,整体增益适中。

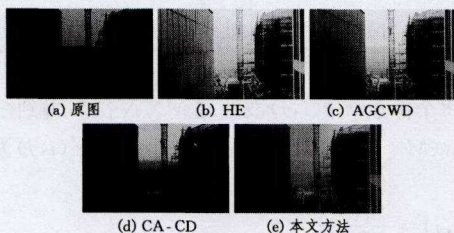


图2 曝光不足的图片

图3展示了一幅曝光过度状态下获取的图片以及经过各个算法处理后的结果,主要用来测试在图像过亮情况下各种算法的处理效果。图3(b)严重失真,灰度不连续性明显;图3(c)和图3(d)存在类似的问题,位于图像中部,由于曝光过度引起的高亮区域分辨率下降的问题未能得到有效的解决,反而变得更加难以辨识,而且整体亮度被进一步提高;图3(e)中,上述问题得到很好的解决,可辨识度明显提升。亮度正常

的部分细节有小幅提升,整体亮度得到了较好的保持。

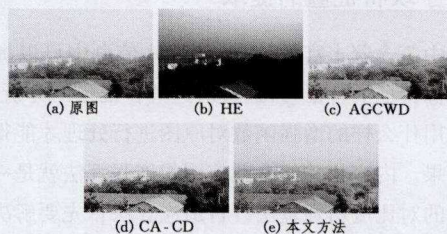


图3 曝光过度的图片

图4展示了一幅逆光状态下获取的图片以及经过各个算法处理后的结果,主要用来测试处理过亮和过暗区域混合的图片时各种算法的效果。图4(b)中,暗部细节提升较为明显,但是在提升暗部细节的同时,高光区域的亮度也被提升,光晕面积增大,高亮部分灰度不连续性严重;图4(c)中没有出现灰度不连续性,但存在与图4(b)相同的问题,亮部没有得到很好的处理;图4(d)增强效果微弱,增强后的结果与原图相比基本没有变化;图4(e)在提升暗部细节的同时,亮部也得到了很好的处理,光晕面积未扩大,亮度未被提高,整体效果理想。

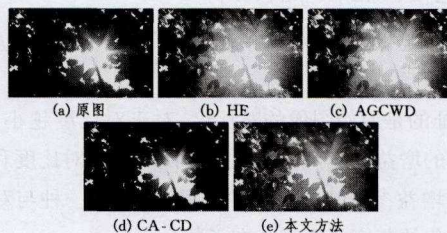


图4 逆光拍摄的图片

图5展示了一幅混合了轻雾、暗部、亮部的复杂图片以及经过各个算法处理后的结果,主要用来测试处理复杂图片时各种算法的效果。图5(b)中暗部增强效果明显,但雾造成的对比度下降没有得到提升,而且出现了大块的亮斑;图5(c)中暗部增强效果明显,但整体亮度被提高,雾造成的对比度下降未能得到提升,亮部的分辨率反而降低;图5(d)中对雾造成的对比度下降区域的细节有所提升,高亮和低亮区域对比度反而有所下降;图5(e)对暗部和亮部的细节均有明显的提升,同时雾造成的对比度下降也得到一定程度的处理,整体效果明显。

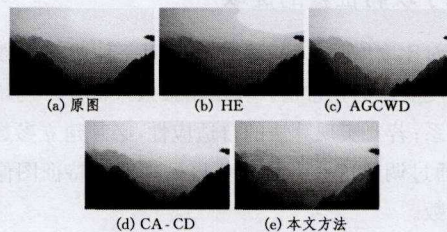


图5 混合多特性的复杂图片

综上所述,本文提出的算法对不同性质的图片有较强的自适应能力,而且处理后的整体效果明显优于其他算法。

结束语 通过引入局部分析处理的思想以及自适应增强函数的产生机制,本文提出的算法已具备了一定的自适应能

(下转第138页)

两个方面取得进展:1)在复杂的编码系统中实现小波系数的预测,考虑到量化操作也会给高频系数带来失真,在量化操作前对不同层间的小波子带系数进行预测将更能保证高频子带系数的有效性,因此探究小波子带内部和子带间系数的相关性,将更有效地提高图像的压缩性能;2)将这种方案应用到3D视频序列,而不局限于图像,结合小波系数的时间相关性,进一步提高编码效率。

参 考 文 献

- [1] Smolic A, Mueller K, Merkle P, et al. Multi-View Video plus depth (MVD) format for advanced 3D video system[C]//23rd Meeting ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q. 6, JVT-w100. USA; San Jose, 2007
- [2] Maire M, Do M N. Joint Encoding of the Depth Image Based Representations Using Shape-Adaptive Wavelets[C]//IEEE Proceedings of the International Conference on Image Processing. 2008;1768-1771
- [3] Wang M, Liu C, Zhang T, et al. Region of interest oriented fast mode decision for depth map coding in DIBR[C]//IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications. 2011;177-180
- [4] Christopoulos C, Askelof J, Larsson M. Efficient regions of Interest coding Techniques in upcoming JPEG2000 still image coding standard[C]//Proceedings of International Conference on

Image Processing(ICIP). 2000;2:41-44

- [5] Oh K-J, Yea S, Vectro A, et al. Depth Reconstruction Filter and Down/Up Sampling for Depth Coding in 3-D Video[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2009, 16(9):747-750
- [6] Daribo I, Saito H, Furukawa R, et al. Effects of Wavelet-Based Video Compression[C]//3D-TV System with Depth-Image-Based Depth Rendering. 2013;277-298
- [7] Hyeokho Choi Justin K. Romberg and Richard G. Baramiuk; Multiscale edge grammars for complex wavelet transform[C]//IEEE International Conference on Image Processing. 2001;614-617
- [8] Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets [M]. Philadelphia; Society for Industrial and Applied Mathematics, 1992
- [9] Pourazad M T, Nasiopoulos P, Ward R K. Generating the Depth Map from the Motion Information of H. 264-Encoded 2D Video Sequence[C]//EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2010
- [10] 顾寅红, 杨长生, 宋广华. 一种基于预测分类的小波图像编码[J]. 浙江大学学报:理学版, 2002, 29(6):663-668
- [11] Tanimoto M, Fujii T, Suzuki K, et al. Reference Softwares for Depth Estimation and View Synthesis[J]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG, Archamps, France, 2008, 20081; M15377
- [12] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(3):379-423

(上接第 112 页)

力和优于已有算法的处理效果。但是,这一研究工作尚处于初级阶段,还有很多问题需要解决,比如更加充分地利用图像的丰富信息,从而更精确地提取出表征图像特征参数的方法;引入更有效的增强函数自适应生成机制,进一步提高算法的适应能力等,这些问题将在未来的工作中继续得到研究。

参 考 文 献

- [1] Nagy L, Benyo B. Filtering and contrast enhancement on subtracted direct digital angiograms [C]//Annual International Conference of the IEEE. San Francisco, CA, USA; IEEE, 2004; 1533-1536
- [2] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 2001
- [3] Li Guo-rong, Qu Wei, Huang Qing-ming. A multiple targets appearance tracker based on object interaction models[J]. IEEE Trans on Circuits and system for video technology, 2012, 22(3): 450-464
- [4] Lin Liang, Lu Yong-yi, Pan Yan, et al. Integrating graph partitioning and matching for trajectory analysis in video surveillance [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2012, 21(12):4844-4857
- [5] Stark J A. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2000, 9(5):889-896

- [6] Ji T-L, Sundareshan M K, Roehrig H. Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties[J]. IEEE Trans on Medical Imaging, 1994, 13(4):573-586
- [7] Rivera A R, Ryu B, Chae O. A content-aware dark image enhancement through channel division[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2012, 21(9):3967-3980
- [8] Huang S-C, Cheng F-C, Chiu Yi-Sheng. Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2013, 22(3): 1032-1041
- [9] Kim T K, Paik J K, Kang B S. Contrast enhancement system using spatially adaptive histogram equalization with temporal filtering[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 1998, 44(1): 82-87
- [10] Bin Liu, Weiqi Jin, Yan Chen, et al. Contrast enhancement using non-overlapped sub-blocks and local histogram projection[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2011, 57(2):583-589
- [11] Kim J-Y, Kim L-S, Hwang S-H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization[J]. IEEE Trans on Circuits and system for video technology, 2001, 11(4):475-482
- [12] Yeganeh H, Ziaei A, Rezaie A. A novel approach for contrast enhancement based on histogram equalization[C]//Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering. Kuala Lumpur, Malaysia; IEEE, 2001; 256-260