

基于梯度及 HVS 特性的离焦模糊图像质量评价*

黄隆华¹, 陈志辉¹, 彭小宁¹, 王正友²

(1. 怀化学院 计算机科学与技术系, 湖南 怀化 418008; 2. 江西财经大学 信息管理学院, 南昌 330013)

摘要: 在当前人眼视觉系统(HVS)特性研究的基础上提出基于梯度及 HVS 特性的离焦模糊图像质量评价模型(GVSSIM)。该模型利用 Sobel 边缘梯度算子提取图像的梯度信息,并根据人眼视觉特性进行视觉加权,得到新的结构相似性评价指标,进而获得图像质量评价指标。该方法与 SSIM(图像结构相似度)评价模型相比,具有计算简单的特点,对离焦模糊图像的评价结果能更好地反映人眼视觉感受。

关键词: 图像质量评价;人眼视觉系统;梯度;离焦模糊图像

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)02-0781-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.02.107

Defocused image quality assessment based on gradient and HVS

HUANG Long-hua¹, CHEN Zhi-hui¹, PENG Xiao-ning¹, WANG Zheng-you²

(1. Dept. of Computer Science & Technology, Huaihua University, Huaihua Hunan 418008, China; 2. School of Information Technology, Jiangxi University of Finance & Economics, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on the latest study on human visual system(HVS) characteristics, this paper proposed the assessment model of the defocused image quality based on the gradient and HVS characteristics (GVSSIM). This model took use of the Sobel edge gradient operator to extract the gradient information of the image, and weighed the formula in accordance with the characteristics of HVS to get the similarit assessment indicators of the new structure, and accessed to the image quality assessment indicators. This method is characteristics of simple computation and the assessment result of the defocused image better reflect the human subjective feeling compared with the SSIM evaluation model.

Key words: image quality assessment; human visual system; gradient; defocused image

图像质量评价是图像处理领域中的一项重要研究内容。图像质量是指人们对一幅图像视觉感受的主观评价,目前通常认为图像质量的含义主要包括两个方面^[1],即图像的逼真度(fidelity)和图像的可懂度(intelligibility)。图像的逼真度是指目标图像与原图像的偏离程度,即目标图像与原图像之间的相似度。相似度高,说明目标图像和原图像的误差小,则图像质量越好。图像的可懂度是指图像能向人或机器提供信息的能力,即目标图像能被人或机器所理解的程度。

图像质量评价的方法包括主观评价和客观评价。主观评价是人直接观察图像,根据规定的评价标准和评价尺度以及人眼对图像的视觉感觉来对图像质量进行打分和评价,再按照各观察者打分的统计平均给出最后的评价结果。主观评价结果虽然比较全面,符合图像的实际观察质量,但是该方法受不同的观察者、图像类型和观测环境等因素影响较大,评价过程较繁。传统的客观评价主要是均方误差(MSE)和峰值信噪比(PSNR),是对整幅图像进行误差综合。该方法表达简单、计算方便,但没有充分考虑人眼视觉感受,评价结果不符合人的主观感受^[2,3]。

由于对图像质量的评价最终取决于观察者的感受,更理想

的、更符合图像实际质量的图像质量评价方法也必须依据人的视觉、心理特性,把主观与客观评价方法有机结合起来。大量研究表明:考虑人眼视觉系统(HVS)特性的评价方法优于没有考虑 HVS 的评价方法^[4,5]。

Wang Zhou 等人^[6,7]提出了结构相似度(SSIM)这一图像质量评判方法,认为人眼视觉的主要功能是提取场景中的结构信息,而人眼视觉系统能高度自适应地实现这一目标。通过仿真实验证明了 SSIM 优于 PSNR,SSIM 简单的计算方法、优越的性能有很大的吸引力。随着对 SSIM 的深入研究,发现 SSIM 算法存在着一些问题,如它不能较好地评估模糊失真类图像的质量等^[8,9]。本文在深入研究的基础上,利用 Sobel 梯度算子计算图像各像素的梯度,结合 HVS 的对比度敏感度特性,提出了基于梯度及 HVS 的图像质量评价方法(GVSSIM)。

1 图像结构相似度

Wang Zhou 等人认为,人眼在观察一幅图像时,首先提取图像的结构信息,因为图像像素之间的信息是相关的。人眼判断一幅降质图像质量的好坏,更多的是审视该图像的结构信息与原图像的结构信息是否相近。基于以上假设,提出了图像结

收稿日期: 2009-05-22; **修回日期:** 2009-06-23 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60963011);湖南省自然科学基金资助项目(06JJ2065);江西省教育厅重点科技项目(GJJ09021);怀化学院优秀青年基金资助项目(HHUQ2007-01)

作者简介: 黄隆华(1979-),男,江西石城人,讲师,硕士,主要研究方向为数字图像处理(bigtree2001@163.com);陈志辉(1981-),女,讲师,硕士,主要研究方向为数字图像处理;彭小宁(1963-),男,副教授,博士,主要研究方向为数字图像处理、并行与分布计算、数据挖掘;王正友(1972-),男,教授,博士,主要研究方向为数字视频图像处理、信息融合、数据挖掘。

相相似度(SSIM)这一客观评判方法。该方法包括三部分,即亮度比较 $l(x,y)$ 、对比度比较 $c(x,y)$ 和结构信息的比较 $s(x,y)$ 。这三部分组成了模型的评判方法:

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \times [c(x,y)]^\beta \times [s(x,y)]^\gamma \quad (1)$$

其中:参数 α, β, γ 均大于零,以调整模型三个部分所占的比重; x, y 分别为原图像和降质图像块。当利用 SSIM 进行图像质量评判时,把一幅图像分成许多重叠或不重叠的子块,对每一个子块利用式(1)进行评分。当对图像所有的子块都进行评分后,整幅图像的评分可以由式(2)得出:

$$MSSIM(X,Y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x_j, y_j) \quad (2)$$

其中: X 和 Y 分别代表了原图像和降质图像。MSSIM 的分值越高,表示原图像和降质图像越相似,降质图像的质量越高。

SSIM 方法创新地提出了基于图像结构信息的想法,并因此取得了不错的评判效果^[9]。本文以此为基础提出基于梯度及 HVS 特性的图像质量评价方法,在对离焦模糊图像进行评价时,效果比 SSIM 更能反映人的视觉感受。

2 HVS 特性

HVS 具有许多特性,诸如对比度敏感度、多通道结构、掩盖效应、视觉非线性定律等,这些特性均与图像质量评价相关^[10]。当前有许多文献详细介绍了 HVS 的各种特性,并结合其进行图像质量评价^[11-13]。对比度敏感度亦称为人眼视觉系统空间调制转移函数(modulate transform function)^[14],其计算模型用 CSF(contrast sensitivity function)来表示。不同实验所得的 CSF 形式各异,但基本上都认为 HVS 的对比度敏感度是空间频率的函数。常用的 CSF 表达式^[15,16]为

$$A(f) = 2.6(0.192 + 0.114f) \exp[-(0.114f)^{1.1}] \quad (3)$$

其中:空间频率 $f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ (周期/度), f_x, f_y 分别为水平、垂直方向的空间频率。在本文中主要参考这一函数对图像质量进行评价,其对应的空间频率曲线如图 1 所示。

图 1 中横轴为图像的空间频率,单位为周/度(cycle per degree, CPD);纵轴为 CSF,表明视觉的相对幅度在空间频率域呈带通特性。根据文献[17],当空间频率低于 0 周/度和高于 60 周/度时,人眼将无法区分像素,即 CSF 的实用范围为 0~60 周/度。从图 1 可以看出,HVS 在空间频率域呈带通特性,CSF 值在 $F=8.0$ (周/度)附近取得最大值,似近为 1,即其对比度最敏感,而在高低频端对比度敏感度下降。

3 基于梯度及 HVS 特性的结构相似度

许多研究者发现,人眼对于图像的边缘和纹理结构信息是最为敏感和重视的,也就是说,边缘和纹理的结构信息很可能是图像结构信息最重要的部分。而作为 SSIM 最为重要的第三部分结构信息的比较, $s(x,y)$ 实质上求取的仅仅是原图像子块与降质图像子块之间像素值的相关系数,不能很好地反映图像的边缘和纹理结构信息。因此,对于模糊图像来说,由于不能很好地衡量出原图像与降质图像之间边缘结构信息的差异,SSIM 模型表现出较差的客观评判结果^[9]。

鉴于人眼对图像边缘纹理信息的极高敏感度,而梯度能较好地反映图像的边缘纹理信息,本文使用 Sobel 边缘检测算子

来计算图像各像素的梯度。

Sobel 边缘检测方法是对数字图像 $f(x,y)$ 的每个像素考察它的上、下、左、右邻点灰度的加权差,与之接近的邻点的权值大。计算方法如下:

$$S(x,y) = \sqrt{(\nabla_x f)^2 + (\nabla_y f)^2} \quad (4)$$

$$\nabla_x f = (f(x-1,y-1) + 2f(x-1,y) + f(x-1,y+1)) - (f(x+1,y-1) + 2f(x+1,y) + f(x+1,y+1)) \quad (5)$$

$$\nabla_y f = (f(x-1,y-1) + 2f(x,y-1) + f(x+1,y-1)) - (f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1)) \quad (6)$$

对应的 Sobel 卷积算子如图 2 所示。其中, G_x 和 G_y 为垂直和水平边缘检测算子。

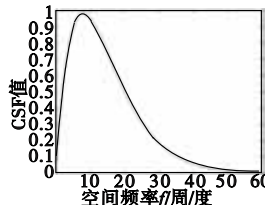


图1 CSF空间频率曲线

G_x		G_y		
1	2	1	0	-1
0	0	0	2	-2
-1	-2	-1	1	-1

图2 Sobel算子

设原图像为 X , 利用 Sobel 边缘检测算子求出图像每一个像素的梯度幅值,得到一个与原图像同等大小的梯度幅值矩阵 X' ,可以将其视为该图像各像素点的空间频率构成的频率矩阵。将图像梯度幅值的变化区间作为图像空间频率在人眼的可识别范围,结合 HVS 的对比度敏感度函数,即第 2 章中所示的 CSF,求得每一像素点的空间频率响应值,以此作为该像素点的 CSF 视觉加权值。具体方法如下:

$$X' = (G_x \cdot X + G_y \cdot Y)^{1/2} \quad (7)$$

$$f_{i,j} = X'_{i,j} / (\max(X') - \min(X')) \times 60 \quad (8)$$

$$A(f_{i,j}) = 2.6(0.192 + 0.114f_{i,j}) \exp[-(0.114f_{i,j})^{1.1}] \quad (9)$$

$$X'' = X' \cdot A \quad (10)$$

其中: X' 表示图像经过 Sobel 算子的垂直和水平算子进行卷积后求得的梯度幅值矩阵; $f_{i,j}$ 为某像素点的视觉频率值; $A(f_{i,j})$ 为对应的频率响应值; X'' 表示进行视觉加权后的梯度幅值矩阵。式(8)中乘以 60 是根据文献[17]所示,CSF 的实用范围为 0~60 周/度。

利用上述方法分别求得原图像 X 和降质图像 Y 的梯度幅值矩阵 X' 和 Y' ,并根据 CSF 进行视觉加权,得到加权后矩阵为 X'' 和 Y'' 。

降质图像的质量可通过与原图像的相关系数来表示,即

$$GVSSIM(X,Y) = \frac{\sigma_{x''y''} + C_1}{\sigma_{x''} \sigma_{y''} + C_1} \quad (11)$$

其中: $\sigma_{x''}, \sigma_{y''}$ 分别表示 X'' 和 Y'' 的标准差;而 $\sigma_{x''y''}$ 则表示 X'' 和 Y'' 的协方差;加入常数 C_1 是为了避免出现分母为零的情况。

4 实验结果与分析

为了验证本文提出的 GVSSIM 图像质量评价方法的优势,通过对一幅标准图像 lena.jpg 产生不同程度的离焦模糊,括号中的数值为对应模糊图像的模糊半径。具体图像如图 3 所示。

将标准图像和降质图像分别利用 Sobel 算子求得各像素点的梯度幅值,并根据 CSF 进行加权。通过计算标准图像与降质图像的相关系数,可得到表 1 所示的结果。其中 MOS 值采用 CCIR500 标准,由图像专家和非图像方面人士组成的小

组给出;SSIM 值为采用 WANG Zhou 等人提出的结构相似度方法所得评价结果;GVSSIM 值为采用本文方法所得评价结果。

表1 本文方法与SSIM、MOS的对比

图像	SSIM	GVSSIM	MOS	图像	SSIM	GVSSIM	MOS
图3(a)	1	1	10	图3(g)	0.620 5	0.646 5	4.35
图3(b)	0.961 7	0.993 4	9.56	图3(h)	0.588 4	0.586 7	3.56
图3(c)	0.867 9	0.949 4	8.72	图3(i)	0.562 4	0.537 7	3.10
图3(d)	0.784 0	0.883 5	7.24	图3(j)	0.541 9	0.493 0	2.15
图3(e)	0.714 6	0.802 7	6.53	图3(k)	0.524 2	0.452 6	1.07
图3(f)	0.659 3	0.719 6	5.21				

从表 1 可以看出,对于离焦模糊图像,SSIM 评价结果与主观评价的相关系数为 97.9%;而采用本文提出的评价模型,评价结果与主观评价有更好的拟合性,其相关系数达 99.5%,说明本文提出的基于梯度及 HVS 特性的图像质量评价方法在评价离焦模糊图像时有很好的评价效果,能较好地反映人的视觉感受。

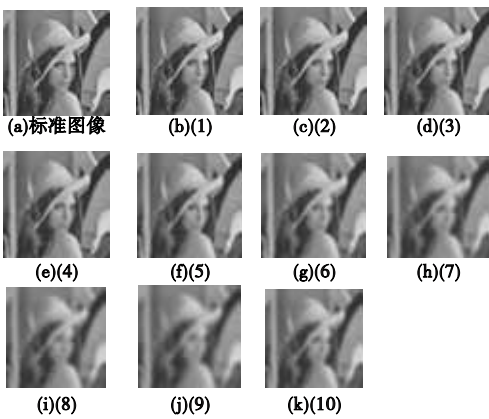


图3 标准图像和各种降质图像

5 结束语

本文在当前人眼视觉系统特性研究的基础上,结合梯度进行离焦模糊图像质量评价,提出了基于梯度及 HVS 特性进行离焦模糊图像质量模型(GVSSIM)。该方法计算简单,且评价结果能很好地拟合人眼视觉感受。

参考文献:

[1] GLENN W E. Digital image compression based on visual perception and scene properties[J]. SMPTE Journal, 1993,102(5):392-398.
 [2] 徐鲁安,叶懋冬,章琦. 一种新的图像质量评价方法[J]. 计算机工程与设计, 2004, 25(3):418-420.

(上接第 777 页)特征评价和特征选择获得缺陷分类能力强的特征,在此基础上,通过最小风险贝叶斯决策模型的统计学习实现了印刷电路板组装缺陷特征的分类。实验结果表明,该方法有效地简化了用户检测程序的编程和调试,降低了人为因素对测试结果的影响,提高了 AOI 准确率和使用效率。目前,该算法已经成功应用于实际生产中,给用户带来极大的便利和效益。

参考文献:

[1] DOUGLAS W R, DOMINIC F H. Why automated optical inspection [C]//Proc of International Test Conference. 1997: 1033-1045.
 [2] 贺珍真,张究民,邝泳聪. 电子元件的特征建模与检查算法研究[J]. 机电工程技术, 2008,37(6):581-61.
 [3] 王锦峰,严仕兴. 统计建模技术在 AOI 中的应用[EB/OL]. ht-

[3] MANNOS J L, SAKRISON J D. The effects of a visual fidelity criterion on the encoding of images [J]. IEEE Trans on Information Theory, 1974,20(4): 525-536.
 [4] 汪孔桥. 数字图像的质量评价[J]. 测控技术,2000,19(5):14-16.
 [5] ESKICIOGLU A M, FISHER P S. Image quality measures and their performance [J]. IEEE Trans on Communications, 1995, 43(12): 2959-2965.
 [6] WANG Zhou, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Trans on Image Processing, 2004,13(4):600-612.
 [7] WANG Zhou, BOVIK A C, LU Li-gang. Why is image quality assessment so difficult[C]//Proc of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 2002:3313-3316.
 [8] PAN Xiao-zhou, YANG Chun-ling, XIE Sheng-li. An improved structural similarity for image quality assessment [C]// Proc of SPIE. 2005:432-440.
 [9] 杨春玲,陈冠豪,谢胜利. 基于梯度信息的图像质量评判方法的研究[J]. 电子学报,2007,35(7):1313-1317.
 [10] WANDELL B A. Foundations of vision [M]. Sunderland: Sinauer Press, 1995: 1-10.
 [11] 杨军,刘藻珍,王寅龙. 基于人眼视觉特性的图像质量评价模型[J]. 弹箭与制导学报, 2002, 23(2):59-62.
 [12] NARANJAN D V, THOMAS D K, WILSONS S G, et al. Image quality assessment based on a degradation model [J]. IEEE Trans on Image Proceedings, 2000,9(4):636-650.
 [13] LAI Y K, KUO CC J C. A harr wavelet approach to compressed image quality measurement [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2000,11(1):17-40.
 [14] 魏崇奎. 基于 HVS 图像质量评价模型的方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2003.
 [15] 丁绪星,朱日宏,李建欣. 一种基于人眼视觉特性的图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(2):190-194.
 [16] MANNO S J L, SAKRISON K J. The effect of a visual fidelity criterion on the encoding of images [J]. IEEE Trans on Inform Theory, 1974, 20(2): 525-536.
 [17] WERNER P. Tone mapping techniques and color image difference in Global illumination[EB/OL]. (1997). <http://www.cg.tuwien.ac.at/research/theses/matkovic/node67.html#SECTION001710000000000000>.

[tp://www.newsmat.com/xueyuan/pxshow?aspnewsid=2056](http://www.newsmat.com/xueyuan/pxshow?aspnewsid=2056).
 [4] KOH K C, CHOI H J, KIM J S. A statistical learning-based object recognition algorithm for solder joint inspection [C]//Proc of Conference on Optomechatronic Systems II. 2001: 260-267.
 [5] KOK W, KIM J H, CHO H S. Solder joints inspection using a neural network and fuzzy rule-based classification method [J]. IEEE Trans on Electronics Packaging Manufacturing, 2000,23(2): 93-103.
 [6] 聂伟荣,朱继南,夏虹. 地面运动目标分类的模式特征与评价[J]. 探测与控制学报, 2002,24(3):22-25.
 [7] De MARQUES Sá J P. 模式识别原理、方法及应用[M]. 吴逸飞,译. 北京:清华大学出版社, 2002:85-100.
 [8] LU Sheng-lin, ZHANG Xian-min. Optimized design of an AOI illuminator[J]. Proc of Wavelet Analysis and Pattern, 2007, 27(7): 87-92.