

基于 CSSIM 的印刷品图像质量评价方法

詹小英¹, 马子龙¹, 黄留佳²

(1.广西机电职业技术学院, 南宁 530007; 2.广西民族大学, 南宁 530007)

摘要: **目的** 为解决印刷品图像质量评价过程中主观与客观评价结果不一致的问题, 以印刷制品为研究对象, 基于 Contourlet 变换提出一种改进的图像质量评价算法。**方法** 在 Contourlet 域进行多尺度、多方向分解, 以获取不同尺度的图像特征。将结构相似度直接应用于各 Contourlet 分解频带, 得到不同频带的结构相似度; 对不同频带的结构相似度求加权和, 进而获得整幅图像的结构相似度, 即图像的最终评价指标。**结果** 以 ISO 标准测试图像为基础进行实验研究的结果表明, 所述方法的综合评价效果最理想, 与主观评价的一致性最好。**结论** 基于 Contourlet 变换域结构相似度的图像质量评价方法能够更好地评价图像质量, 符合人眼的视觉特性, 可用于印刷品图像处理。

关键词: Contourlet 变换; 结构相似度; 图像质量评价; 印刷图像

中图分类号: TS801; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)21-0204-05

Evaluation Method for Printed Image Quality Based on CSSIM

ZHAN Xiao-ying¹, MA Zi-long¹, HUANG Liu-jia²

(1.Guangxi Technological College of Machinery and Electricity, Nanning 530007, China;
2.Guangxi University for Nationalities, Nanning 530007, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an improved image quality evaluation algorithm based on Contourlet transform, in order to solve the inconsistency between subjective and objective evaluation results in the process of evaluating the printed image quality. The image was decomposed in a multi-scale and multi-directional manner in the Contourlet domain to obtain image features of different scales. The structural similarity (SSIM) was directly applied to each Contourlet decomposed sub-band and the SSIM of different frequency bands was obtained. The SSIM of a whole image was achieved on the basis of the weighted sum of SSIM from different frequency bands calculated, namely the final evaluation index of the image. The results of experiment study carried out based on the ISO standard test images showed that, the comprehensive evaluation effect of the described method was ideal and the consistency with the subjective evaluation was the best. The image quality evaluation method based on Contourlet transform domain structure similarity (CSSIM) can better evaluate the image quality and accord with human visual features. Therefore, it can be used for printed image processing.

KEY WORDS: Contourlet transform; SSIM; image quality evaluation; printed image

在印刷行业中, 图像质量评价大多分为主观评价和客观评价^[1-3]。客观评价大多采用印刷测控条、梯尺等工具进行实际测量, 同时结合目测主观评价来确定印刷图像的质量^[4]。虽然梯尺、测控条等工具使用起来比较简单, 但是其无法准确直接地反映图像质量特征。目测评价作为一种主观评价方法, 虽然其充分

考量了观察者对图像的理解效果, 但是该方法易受观察者观测目的、知识背景、周围环境等因素的影响, 结果自由度较大^[5-9]。若从工程方面考虑, 主观评价和实际测量过于费时费力, 况且很难用精确数学模型描述并推广应用^[10], 因此, 针对印刷制品图像质量进行相关客观评价方法的研究具有一定理论和实际意义。

收稿日期: 2017-05-16

基金项目: 广西职业教育教学改革项目 (GXGZJG2016B052)

作者简介: 詹小英 (1979—), 女, 硕士, 广西机电职业技术学院讲师, 主要研究方向为计算机应用。

当前使用较多的客观评价方法往往无法直接获取与图像质量相关的数据, 因而其计算结果不够准确^[11]。一些客观评价指标, 例如峰值信噪比 (PSNR) 和均方根误差 (MSE), 数学模型简单, 但是客观评价与主观评价的结果一致性不好^[12-13]。针对图像质量评价方法的研究比较多, 文献[14]采用结构相似度 (SSIM) 设计了一种图像质量评价指标, 结合 3 个不同要素如亮度、对比度和结构等建立失真模型。实验结果表明, 该评价指标所产生的客观评价结果与主观评价的一致性更好, 优于 PSNR 和 MSE, 其适用范围有限。文献[15]则利用区域互信息 (RMI) 和 Prewitt 幅度提出了一种图像质量评价方法 (PMRMI)。Prewitt 算子可用于边缘检测, 其幅值则主要用于提取某些通道的关键特征, 以实现向 HSV 空间图像的转换。利用区域互信息计算原图像和 HSV 空间图像之间各通道相似性并加权, 主客观评价结果一致性比较理想。

在现有研究的基础上, 考虑到 Contourlet 变换可进行多尺度、多方向和多通道分解, 文中基于 Contourlet 变换提出了一种图像质量评价方法, 与 MSE, PSNR, SSIM 等方法相比, 该方法评价结果更好。

1 图像结构相似度

根据结构失真评价理论, 在接收图像信号时人眼会自动提取对应结构信息, Wang 等基于此现象提出了一种图像质量评价方法, 即结构相似法 (SSIM)^[16]。对物体结构来说, 光照可被认为是独立的, 导致其发生变化的主要因素为亮度和对比度, 由此可从图像结构信息中将亮度和对比度分离出来, 综合结构信息对图像质量进行评价。图像结构相似度系统见图 1。

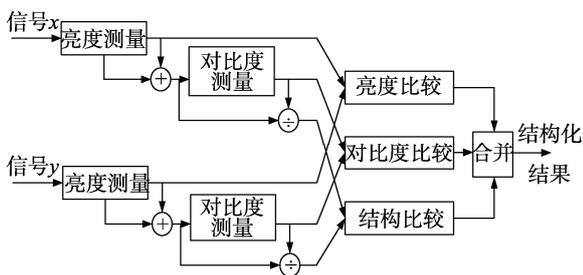


图 1 图像结构相似度系统
Fig.1 Structural similarity system of the image

图像结构相似度 (SSIM) 主要包括亮度比较、对比度比较、结构信息比较等 3 个部分, 对应表达式可表示为:

$$l(x, y) = \frac{2u_x u_y + C_1}{u_x^2 + u_y^2 + C_1} \quad (1)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x \sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (2)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3} \quad (3)$$

模型评判方法可描述为:

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (4)$$

式中: x 为原图像块; y 为降质图像块; u_x, u_y 分别为对应图像块 x 和 y 的均值; σ_x, σ_y 分别为对应图像块 x 和 y 的标准差; σ_{xy} 为图像块 x 和 y 的协方差; 参数 α, β, γ 均大于 0, 用于调整亮度比较、对比度比较、结构比较部分所占的比例; C_1, C_2, C_3 为小常数可以避免分母为 0, 其中 $C_1 = (K_1 L)^2, C_2 = (K_2 L)^2, C_3 = (C_2/2)^2, K_1 \ll 1, K_2 \ll 1; L$ 则为像素动态范围。

SSIM 引入了空间域图像结构信息, 可对其失真情况进行度量, 因而具有比较好的评判效果。Contourlet 变换域图像处理技术的发展, 使得其结构相似度的研究尤其重要。如何实现 Contourlet 变换域的结构相似度 (CSSIM) 分析是文中研究的重点。

2 Contourlet 变换域的结构相似度

Contourlet 变换也可称为塔形方向滤波器组 (PDFB) 是一种多尺度分析方法。基于该变换表示的图像具有多尺度、方向性、局部化等特点, 即使系数不多也可有效捕捉图像边缘轮廓。Contourlet 变换由方向滤波器组滤波 (DFB) 和拉普拉斯塔式分解 (LP) 一起实现, 首先利用 LP 分解进行图像处理同时得到高频子带和低频子带; 然后采用 DFB 滤波对高频子带进行处理, 将相同方向的奇异点整合为一个系数。继续对低频子带进行 LP 分解和 DFB 滤波处理以得到下一层高频子带和低频子带, 如此循环, 具体变换结构见图 2。文中所述 CSSIM 算法中的 Contourlet 变换包含 3 级拉普拉斯变换以及 1—3 级方向滤波器组。

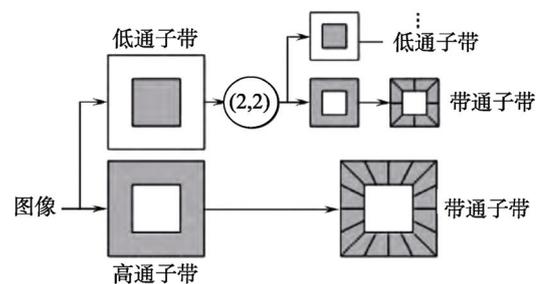


图 2 Contourlet 变换结构
Fig.2 Contourlet transform structure

由人眼视觉特性曲线可以看出, 人眼对中频带即图像主轮廓最敏感, 所以基于视觉的图像质量评价大多针对中频带的信息失真度。相对而言, Contourlet 变换则能够很好地利用不同频带、不同方向的信息, 不仅仅依靠中频带, 所以可获得更加符合人眼视觉特性的评价结果。基于 Contourlet 变换域的结构相似度,

将结构相似度直接应用于各分解子频带,进而获得不同频带的结构相似度;对不同频带的结构相似度求加权和,进而获得整幅图像的结构相似度。Contourlet 变换域的结构相似度具体运算步骤如下所述。

1) 分别对原始图像和降质图像进行多级 Contourlet 变换,以得到图像对应的变换系数。

2) 利用式(4)结合第 i 个拉普拉斯分解频带不同方向的 Contourlet 系数求解该频带的结构相似度 $CSSIM(x_i, y_i)$ 。

3) 以所有频带的 $CSSIM(x_i, y_i)$ 为基础求加权和,进而得到整个图像 Contourlet 变换域的结构相似度 $CSSIM(X, Y)$, 求解算式:

$$CSSIM(X, Y) = \sum_{i=1}^M \omega_i CSSIM(x_i, y_i) \quad (5)$$

式中: x_i 为原图像第 i 个 Contourlet 分解频带的系数; y_i 为失真图像第 i 个 Contourlet 分解频带的系数; ω_i 为各频带权值; M 则为图像分解频带数。

3 实验与分析

为验证所述图像质量评价方法的可行性和有效性,文中进行了相关实验。选取“ISO 标准测试图像”内 6 幅特征比较明显的图像作为参考,见图 3。



图3 标准图像
Fig.3 Standard images

3.1 主观评价

实验图像输出:采用 Epson Stylus Pro 7910 设备打印,承印材料为 170 g/m² 的半光面相片纸。照明

光源设定:照度约为 1500 lx,显色性指数为 95,色温为 5200 K。选取 10 位视觉正常的志愿者进行主观实验。

基于主观平均数评价方法将图像的 5 个方面,即颜色、清晰度、阶调、对比度、整体质量,划分为 5 个等级:1 表示非常差,2 表示差,3 表示一般,4 表示好,5 表示非常好。让 10 位观察者同时对电子原稿和印刷稿打分,主观数据归一化结果见表 1。

表 1 主观评价结果
Tab.1 Subjective evaluation results

序号	颜色	清晰度	阶调	缺陷	对比度	整体
a	0.74	0.82	0.76	0.70	0.78	0.80
b	0.68	0.72	0.72	0.68	0.76	0.76
c	0.78	0.80	0.77	0.80	0.78	0.80
d	0.70	0.76	0.75	0.80	0.74	0.78
e	0.78	0.82	0.67	0.80	0.82	0.80
f	0.82	0.84	0.77	0.82	0.78	0.84
标准偏差	0.049	0.041	0.036	0.055	0.024	0.024

通过分析表 1 可以看出,人眼主观判断在图像的颜色、阶调 2 个方面给出的评价分数波动不大,标准偏差相对较小,具有较好的一致性;然而,在清晰度和对比度上,表现了一定偏差,表明观察者容易受环境和心理的影响,一致性较差。

3.2 客观评价

对待测图像进行数字化处理,用 HP ScanJet G4050 在 600 dpi 的分辨率下扫描印刷图像,扫描过程对扫描仪进行严格的色彩管理。针对上述标准图像,分别基于均方误差(MSE)、峰值信噪比(PSNR)、SSIM、CSSIM 等几种方法进行客观评价。均方误差是常用的图像质量评价模型:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (6)$$

式(6)表示原图像和处理图像之间的均方误差, I 和 K 表示 2 幅图像; m 和 n 分别表示图像的宽和高。峰值信噪比也是一种常用的图像质量评价模型:

$$PSNR = 10 \lg \left(\frac{I_{max}^2}{MSE} \right) = 20 \lg \frac{I_{max}}{MSE} \quad (7)$$

式中: I_{max} 为 8 bits 表示法的最大值; PSNR 值越小,失真越大。评价结果见表 2,可以看出, MSE 和 PSNR 无法准确地评价印刷图像质量。与 SSIM 相比, CSSIM 可以更加有效地评价印刷图像质量,主要原因在于 CSSIM 可以利用 Contourlet 变换更好地捕获图像边缘轮廓。

可用 Pearson 相关系数计算图像主观评价结果和 MSE, PSNR, SSIM, CSSIM 模型客观评价结果之间的相关性。Pearson 相关系数计算公式为:

表 2 客观评价结果
Tab.2 Objective evaluation results

序号	MSE	PSNR	SSIM	CSSIM
a	0.0839	0.1566	0.7088	0.9155
b	0.0989	0.1483	0.6725	0.9122
c	0.1246	0.1721	0.6163	0.9466
d	0.1475	0.1212	0.4803	0.9077
e	0.1530	0.1270	0.7811	0.9003
f	0.2141	0.1174	0.6522	0.9150

$$\rho_{i,j} = \frac{\text{cov}(i,j)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (8)$$

式中: $\text{cov}(i,j)$ 为变量 i 和 j 的协方差; σ_i 和 σ_j 为标准差。相关系数的绝对值越大, 相关性越强, 相关系数越接近于 1 或 -1, 相关度越强, 相关系数越接近于 0, 相关度越弱。计算结果为 0.4645, 0.4988, 0.7536, 0.9225。说明 CSSIM 模型的评价结果和主观评价结果具有较好的一致性, 其性能优于 MSE, PSNR 以及 SSIM。

综上所述, 文中所述评价方法在预测稳定性、准确度、一致性等方面具有一定优势。

4 结语

对于印刷制品图像质量评价问题, 基于 Contourlet 变换提出了一种图像质量评价方法, 以解决传统评价方法所存在的客观评价和主观评价不一致等问题。介绍了图像结构相似度及 Contourlet 变换域的结构相似度的基本原理。以 ISO 标准测试图像为基础, 进行了相关实验研究。比较了不同算法的性能。实验结果表明, CSSIM 算法的综合评价效果最理想, 在预测稳定性、准确度、一致性等方面具有一定优势。

参考文献:

- [1] 姜中敏, 周颖梅. 基于多尺度结构相似度的印刷图像质量评价研究[J]. 包装工程, 2016, 37(9): 134—137. JIANG Zhong-min, ZHOU Ying-mei. Image Quality Assessment Based on Multi-scale Structural Similarity[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(9): 134—137.
- [2] 蒋刚毅, 黄大江, 王旭, 等. 图像质量评价方法研究进展[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(1): 219—226. JIANG Gang-yi, HUANG Da-jiang, WANG Xu, et al. Overview on Image Quality Assessment Methods[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(1): 219—226.
- [3] 徐敏, 郑元林. 基于 SSIM 的印刷图像质量评价研究[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 98—101. XU Min, ZHENG Yuan-lin. Research of Printed Image Quality Based on SSIM[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 98—101.
- [4] 钱方, 孙涛, 郭劲, 等. 基于小波变换的多尺度 SSIM 算法[J]. 液晶与显示, 2015, 30(2): 317—325. QIAN Fang, SUN Tao, GUO Jin, et al. Multi-scale SSIM Algorithm Based on Wavelet Transforms[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2015, 30(2): 317—325.
- [5] 赵文哲, 秦世引. 图像质量评价的研究进展和若干问题的解决途径[J]. 激光与光电子学进展, 2010, 47(4): 1—9. ZHAO Wen-zhe, QIN Shi-yin. Image Quality Assessment and Some Solving Approaches to Current Issues[J]. Laser and Optoelectronics Progress, 2010, 47(4): 1—9.
- [6] 王正友, 李振兴, 林维斯, 等. 结合 HVS 和相似特征的图像质量评估方法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 32(7): 1606—1612. WANG Zheng-you, LI Zhen-xing, LIN Wei-si, et al. Improved Image Quality Assessment Model Incorporating HVS and FSIM[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 32(7): 1606—1612.
- [7] 褚江, 陈强, 杨曦晨. 全参考图像质量评价综述[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(1): 13—22. CHU Jiang, CHEN Qiang, YANG Chen-xi. Overview of the Full Reference Image Quality Evaluation[J]. Application Research of Computers, 2014, 31(1): 13—22.
- [8] 刘长鑫, 刘真, 杨晟炜, 等. PSNR 在网目调数字图像质量评价中的应用研究[J]. 包装工程, 2012, 33(7): 108—111. LIU Chang-xin, LIU Zhen, YANG Sheng-wei, et al. Application Study of PSNR in Quality Evaluation of Digital Halftone Image[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(7): 108—111.
- [9] 佟雨兵, 张其善, 祁云平. 基于 PSNR 与 SSIM 联合的图像质量评价模型[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(12): 1758—1763. TONG Yu-bing, ZHANG Qi-shan, QI Yun-ping. Image Quality Assessing by Combining PSNR with SSIM[J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(12): 1758—1763.
- [10] 付伟, 顾晓东, 汪源源. 基于人眼视觉特性的彩色图像质量评价[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(2): 59—63. FU Wei, GU Xiao-dong, WANG Yuan-yuan. Color Image Quality Assessment Based on HVS[J]. Microelectronics & Computer, 2010, 27(2): 59—63.
- [11] 徐云生, 尹东. 一种基于 Contourlet 变换的图像质量评价算法[J]. 电子技术, 2010(7): 23—26. XUN Yun-sheng, YIN Dong. An Image Quality Assessment Algorithm Based on Contourlet Transform[J]. Electronic Technology, 2010(7): 23—26.
- [12] 金伟正, 冷秋君, 张卓, 等. 基于 contourlet 变换的多尺度图像质量评价[J]. 武汉大学学报(理学版), 2015, 61(2): 192—196. JIN Wei-zheng, LENG Qiu-jun, ZHANG Zhuo, et al.

- Contourlet Transform Based Multiscale Image Quality Assessment Metric[J]. J Wuhan Univ (Nat Sci Ed), 2015, 61(2): 192—196.
- [13] 闫利, 胡晓斌. 利用 Contourlet-SSIM 视觉模型的 IKONOS 图像质量评价研究[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2014, 39(1): 12—16.
- YAN Li, HU Xiao-bin. Image Quality Assessment of IKONOS Images Based on Contourlet SIIM Model[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014, 39(1): 12—16.
- [14] 顾丽旻, 王晓红. 基于结构信息的图像质量评价模型[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(2): 42—46.
- GU Li-min, WANG Xiao-hong. Structural Information-based Image Quality Assessment Models[J]. Computer Systems & Applications, 2012, 21(2): 42—46.
- [15] ZHANG H, ZHU Q, FAN C, et al. Image Quality Assessment Based on Prewitt Magnitude[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2013, 67(9): 799—803.
- [16] WANG Z, BOVIK A, SHEIKH H, et al. Image Quality Assessment: from Error Measurement to Structural Similarity[J]. Image Processing IEEE Trans, 2004, 13(4): 600—612.

《包装与食品机械》

2018年征订启事

中国学术期刊综合评价数据库刊源期刊

中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊

中国期刊网全文数据库全文收录期刊

万方数据-数字化期刊群全文上网期刊

中国学术期刊(光盘版)入编期刊

首批《CAJ-CD规范》执行优秀期刊

中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊)

英国《科学文摘》(INSPEC)收录期刊

安徽省优秀期刊

美国《化学文摘》(CA)收录期刊

英国《食品科技文摘》(FSTA)收录期刊

美国《乌利希期刊指南》(UPD)收录期刊

《包装与食品机械》杂志由中国机械工程学会主办,是中国机械工程学会包装与食品工程分会会刊。

《包装与食品机械》杂志主要报道国内外包装机械与食品机械的设计与制造、包装工艺、包装工艺设备、包装材料及食品加工技术、食品生物技术、微生物发酵工程、食品品质无损检测、食品机械以及食品包装、食品贮藏等方面的最新研究成果以及应用技术。本刊主要栏目有:试验研究、设计计算、技术综述、测试技术、专家论坛、产品开发、工艺设备、应用技术等。

欢迎投稿, 欢迎订阅, 欢迎刊登广告!

● 双月刊, 大 16 开, 每册定价 10.00 元, 全年 60.00 元

● 邮局订阅(国内邮发代号 26-111; 国外发行代号 BM4791), 或直接由本刊邮购

● 地址: 合肥市长江西路 888 号 邮编: 230031

● 国内刊号: CN 34-1120/TS 国际刊号: ISSN 1005-1295

● 电话: (0551) 65335818

● <http://www.pfm114.com> E-mail:bjzszs@114.com