

图像清晰度评价方法研究

王鸿南 钟文 汪静 夏德深

(南京理工大学计算机系 603 教研室, 南京 210094)

摘要 数字图像的清晰度评价一直是各类数字成像系统的一个关键问题,而在已有的一些的评价参数中,由于评价方法不同,均存在一些局限性,为此,针对图像的清晰程度提出一种新的评价方法,目的在于能够快速、准确地评价数字图像的清晰度。该评价方法评价参数可通过改进边缘锐度算法(EAV)得到,然后与机测 MTF 值的变化趋势一起做曲线回归分析,以便和其他传统清晰度评价参数做对比。通过上百幅各类数字图像的测试,结果表明,该评价参数与数字成像系统的 MTF 值变化有着很好的正相关关系,其不仅能够更准确地反应数字图像清晰度变化的趋势,而且便于简捷、快速地应用于各类数字图像的清晰度评价。

关键词 清晰度 曲线回归分析 点锐度算法 调制传递函数(MTF)

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)07-0828-04

Research of Measurement for Digital Image Definition

WANG Hong-nan, ZHONG Wen, WANG Jing, XIA De-sheng

(Department of Computer Science & Technology, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094)

Abstract Evaluation of definition for gray scale digital image is an important aspect of digital imaging system. Thus, in order to evaluate the definition of a gray scale image accurately and effectively, we present a new approach based on EVA method which, while retaining important features of existing method, overcomes some of their limitation. With curvilinear regression analysis we can prove that the result of the new approach is high correlation with MTF measured by optical instrument, in other words, the new method is sensitive to the change of image definition. When compared with traditional method, the result of analysis can also show that the new method is better than traditional method, such as entropy, to assess gray scale digital image definition. Experiments using hundreds of many kinds of gray scale digital image and the result of this new approach is well accurate to the change of definition of digital image. Form these we can also draw a conclusion that the new approach can be well applied to many kinds of gray scale digital image accurately and effectively.

Keywords definition, curvilinear regression analysis, point sharpness method, modulation transfer function (MTF)

1 引言

随着各类数字成像技术的飞速发展,数字图像的清晰度日益成为衡量数字成像系统优劣的重要指标,然而,如何客观有效地评价数字图像的清晰度,仍是研究的热点。目前,对数字图像清晰度的评价方法主要有空域参数方差、熵以及频域调制传递函数 MTF(modulation transfer function)等,但由于这些方法各有优缺点,如空域参数虽评价简洁、快速,但对图像清晰度的细小变化不敏感;频域参数虽对图像清晰度变化敏感,但计算较慢,不宜程序运算的自

动化。因此,本文基于此点,提出一种新的方法——点锐度算法,该算法既有空域参数简洁、快速的特点,又有频域参数对图像清晰度变化敏感的特点,从而可快速精确地评价数字图像的清晰度。

2 数字图像清晰度评价函数研究

关于评价数字图像清晰度的常用空域参数优缺点在文献[1~3]中已做出评价,其中以方差和熵等为代表的空域参数性能较好,但它们对图像清晰度变化的敏感度并不理想。为此,本文提出一种新的算法与文献[1,2]中清晰度评价函数做对比,以研究如

何更准确地评价图像的清晰度。

2.1 图像清晰度评价的新方法——点锐度算法

本文提出的新算法是通过改进边缘锐度算法^[4](EAV)得到的,该算法是通过统计图像某一边缘法向方向的灰度变化情况进行评价,即灰度变化越剧烈,边缘越清晰,图像也越清晰。该算法锐度计算公式如下:

$$E = \frac{\sum_a^b (df/dx)^2}{|f(b) - f(a)|} \tag{1}$$

其中, df/dx 为边缘法向的灰度变化率, $f(b) - f(a)$ 为该方向总体灰度变化。从另一个角度来看,该方法近似于统计该边缘线扩展函数能量分布的情况,但 EAV 算法只对图像的特定边缘区域做统计,能否代表整幅图像的清晰度仍有疑问,此外计算前需人工选定边缘区域,不易实现程序运算的自动化,为此本文对 EAV 算法做如下改进:

- (1) 将针对边缘的梯度计算改为逐个像元邻域梯度的计算,以便使算法能够对图像的整体进行评价,并使算法运算实现自动化。
- (2) 由于方格采样像元具有各向异性的特点,因此对方格像元 8 邻域的灰度变化进行距离加权,其中 0° 和 90° 度相邻的像元权值为 1, 45° 和 90° 相邻的像元权值为 $1/\sqrt{2}$ 。
- (3) 对计算结果按图像的大小进行规格化,以便

于图像的对比。

经以上 3 步改进后的点锐度算法的点锐度为

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{m \times n} \sum_{a=1}^8 |df/dx|}{m \times n} \tag{2}$$

其中, m, n 为图像的长和宽, df 为灰度变化幅值, dx 为像元间的距离增量。公式(1)可描述为:逐个对图像中的每点取 8 邻域点与之相减,先求 8 个差值的加权(权的大小取决于距离,距离远,则权小,如 45° 和 135° 方向的差值需乘以 $1/\sqrt{2}$),再将所有点所得值相加除以像素总个数。其中 df/dx 较边缘锐度算法之所以由平方变为绝对值的原因主要是,整幅图像的 8 邻域灰度差值和已足够反映图像的灰度分布情况,若加上平方的放大作用,反而会因噪声等众多因素而造成该参数的波动。公式(2)可以理解为对图像每点周围的灰度扩散程度的统计,即扩散程度越剧烈,其值越大,图像越清晰。从另一个角度看,该算法可以近似地等同于对图像点扩展函数能量分布情况的统计。

3 试验及数据分析

3.1 几幅图像空域参数的对比

为验证本文评价算法效果,选择了 Lena 图像和一幅遥感图像进行了不同参数评价对比试验,试验结果如图 1、图 2 所示。

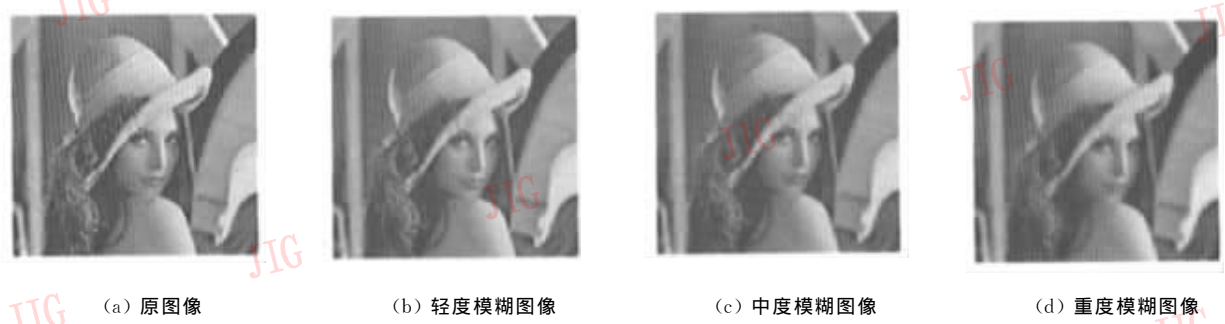


图 1 不同模糊程度的 Lena 图像

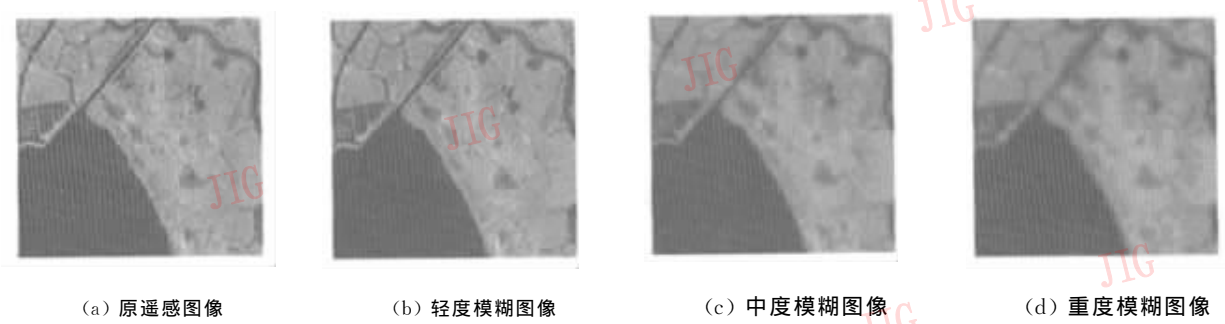


图 2 不同模糊程度的遥感图像

表 1 点锐度与熵、方差的对比

| | 本文方法 | 传统方法 | |
|--------|-------|------|------|
| | 点锐度 | 熵 | 方差 |
| 图 1(a) | 62.19 | 5.25 | 2734 |
| 图 1(b) | 39.30 | 5.17 | 2342 |
| 图 1(c) | 30.99 | 5.14 | 2210 |
| 图 1(d) | 26.03 | 5.11 | 2080 |
| 图 2(a) | 31.00 | 3.92 | 519 |
| 图 2(b) | 14.66 | 3.78 | 390 |
| 图 2(c) | 8.99 | 3.72 | 370 |
| 图 2(d) | 6.39 | 3.69 | 353 |

从表 1 中可以看到,点锐度与方差、熵有一致的变化趋势,但点锐度的变化幅度更大,较方差和熵更为敏感。

3.2 回归分析试验

上节中对空域参数性能的评价仅仅是基于理论或几幅图像的简单定性的评价,而在以下的试验中将用点锐度、方差、熵与数字采样系统的 MTF 值分别做曲线回归分析,试图定量地判断点锐度、方差、熵各参数对图像清晰度变化的敏感程度。

回归分析试验理论:MTF 是目前国际上评价数字采样系统成像清晰度的较标准方法,虽然该方法计算复杂及不易自动化,使其难以广泛应用^[5,6],但由于该参数对数字图像清晰度的变化非常敏感,因此在回归分析试验中,常以仪器测得的系统 MTF 值为参照标准,对各参数做曲线回归分析,如参数值拟合曲线与测得 MTF 值分布曲线吻合情况好,且残差较小,即说明该参数与系统 MTF 值之间是强相关关系,也就对清晰度的变化越敏感。

回归分析试验步骤如下:

- (1)在光学系统的焦面与非焦面上采集 8 张相同的图像(在焦 1 张,离焦 7 张,且成像位置在焦面一侧呈等距分布),与此同时,又用仪器测得不同成像位置的系统 MTF 值下降曲线。
- (2)分别计算每张图像的方差、熵与点锐度。
- (3)对计算结果做统计回归分析。

通过采用这种方法,对不同的 24 幅图像(每幅 8 次不同成像位置采样)进行了实验,部分实验图像及回归分析结果如图 3、图 4 所示。

从图 4(a)中可以看出,点锐度对图像清晰度的变化最为敏感,最能反映 MTF 曲线的变化趋势,而方差次之,熵的效果最不理想。图 4(b)、4(c)、4(d)展示的分别是方差、熵、点锐度曲线与 MTF 的二次曲线的拟合结果,从图中可以对比地看到,点锐度曲线和 MTF 曲线拟合得最好,即说明点锐度的变化曲线与 MTF 曲线有很好的正相关性。而在表 2 中则列出使用不同曲线拟合方法后所得到的各参数残差和的结果,从中亦可以看到,不论用何种曲线拟合,点锐度曲线与 MTF 曲线的拟合残差最小,即与 MTF 观测值曲线正相关效果最好,这就进一步定量地说明点锐度能够较精确地反映图像的清晰度。

表 2 不同曲线拟合的残差和结果比较

| | 传统方法 | | 本文方法 |
|---------------------|---------|---------|---------|
| | 方差 | 熵 | 点锐度 |
| 线性拟合残差(liner) | 0.130 1 | 0.263 3 | 0.115 3 |
| 二次曲线拟合残差(quadratic) | 0.069 4 | 0.261 3 | 0.038 7 |
| 三次曲线拟合残差(cubic) | 0.071 3 | 0.259 3 | 0.041 0 |

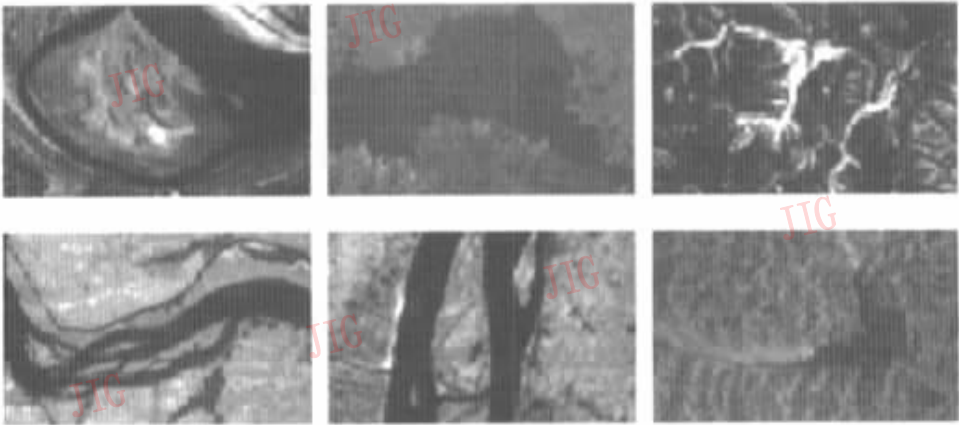


图 3 实验图像

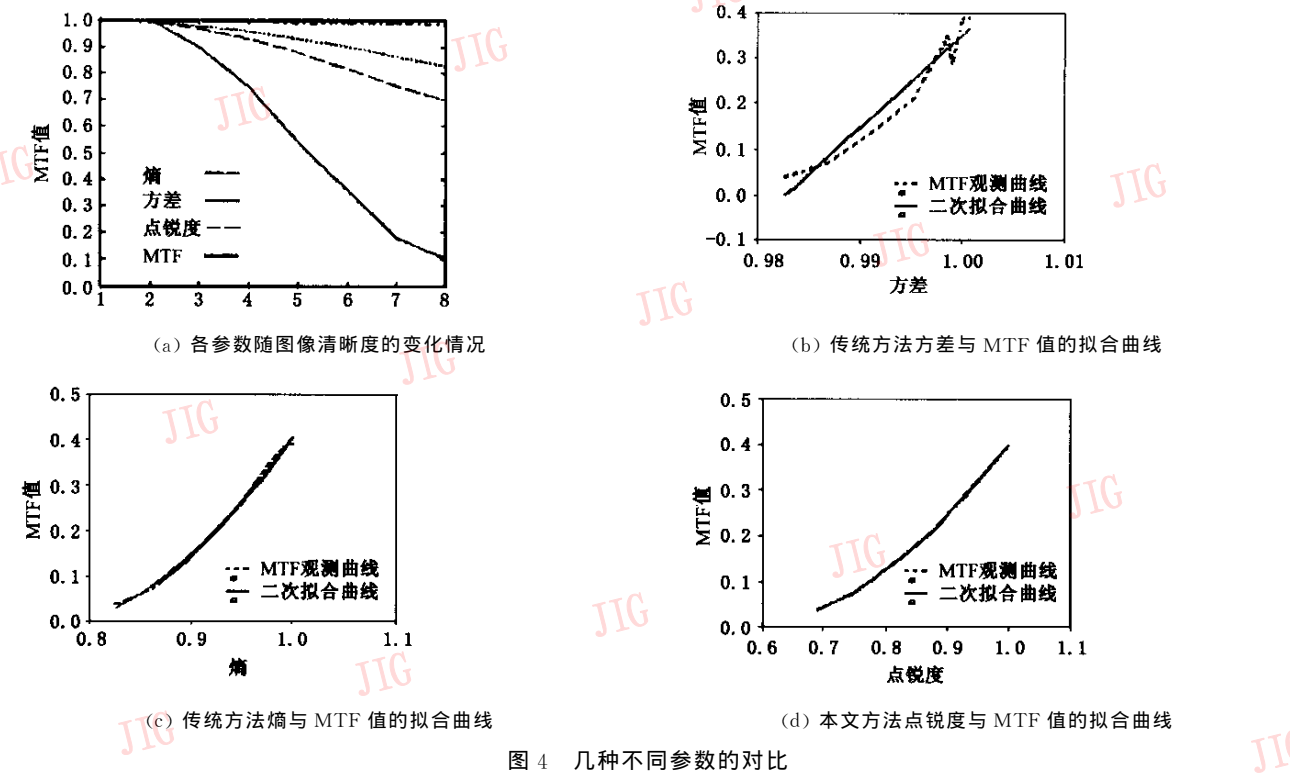


图 4 几种不同参数的对比

4 结 论

通过以上对点锐度算法的实验分析,尤其是针对 MTF 曲线进行了上百幅图像的统计回归分析后可以得出以下结论:点锐度算法的评价参数——点锐度较熵、方差更能反映 MTF 曲线随数字图像清晰度变化的趋势,因此,点锐度不但具备易于运算程序化和评价时间较短等空域灰度参数的特点,同时也具备对图像灰度分布差异变化敏感的频域参数的特点,从而可以快速、准确地评价各类数字图像的清晰度。

致 谢 在此感谢北京空间机电研究所提供试验设备及 MTF 测量仪,该试验的进行对本文数字图像清晰度的评价发挥了重要作用。

参 考 文 献

- 1 李奇,冯华君,徐之海等. 数字图像清晰度评价函数研究[J]. 光子学报,2002,31(6):736~738.
- 2 Eskicioglu Ahmet M, Fisher Paul S. Image quality measures and their performance[J]. IEEE Transactions on Communications, 1995,43(12):2959~2965.
- 3 徐建华. 图像处理与分析[M]. 北京:科学出版社,1992,1.
- 4 张霞,张兵,赵永超等. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图像质量评价[J]. 中国图象图形学报,2002,7A(6):581~586.
- 5 Schowengerdt R A, Basedow R W, Colwell J E. Measurement of the HYDICE system MTF from flight imagery [J].

Proceedings of SPIE, 1996,2821(6):127~136.

6 麦韦麟. 光学传递函数及其数理基础[M]. 北京:国防工业出版社,1978,1.

王鸿南 1979 年生,2000 获南京理工大学计算机科学与工程系学士学位,现为南京理工大学博士研究生。目前主要研究方向为计算机视觉、图像处理、模式识别等。
E-mail:leinfalos@163.com



钟 文 1977 年生,1999 获南京理工大学计算机科学与工程系学士学位,现为南京理工大学硕士研究生。目前主要研究方向为统计分析、图像处理等。

汪 静 1980 年生,2001 获南京理工大学计算机科学与工程系学士学位,现为南京理工大学硕士研究生。目前主要研究方向为计算机应用、图像处理、卫星遥感等。

夏德深 1941 年生,教授,博士生导师,毕业于法国鲁昂大学,获博士学位。主要研究方向为图像处理、卫星遥感、模式识别。发表论文 80 余篇,专著 4 部。