

图像的情感特征分析及其和谐感评价

毛 峡¹, 丁玉宽¹, 牟田一弥²

(1. 北京航空航天大学电子工程系, 北京 100083; 2. 日本京都大学电气工程系, 京都 606-8501)

摘 要: 情感信息处理是日本、美国等科学技术发达国家正着手研究的前沿课题, 本文以图像的情感信息为研究对象, 首先建立了二维波动的数学模型, 然后提出了一种图像波动分析的方法, 并用 SD 尺度法对三类典型波动规律的图像进行了心理测试, 同时使用方差分析法验证了心理测试结果差异的显著性. 证明了符合“ $1/f$ 波动”规律的图像能够给人以和谐与美的感觉.

关键词: 图像情感信息; $1/f$ 波动; 功率谱密度; SD 尺度法; 和谐感

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 12A-1923-05

Analysis of Affective Characteristics and Evaluation on Harmonious Feeling of Image

MAO Xia¹, DING Yu-kuan¹, Muta Itsuya²

(1. Dept. of Electronic Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China;

2. Dept. of Electrical Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan)

Abstract: Affective information processing is a new subject of research in several developed countries such as Japan and U. S. A. Affective information of image is the subject studied in this paper. A model of two-dimensional $1/f$ fluctuation is proposed, then analyses are made on the fluctuation characteristics of image by way of this model, and a new algorithm is presented. At the same time psychological measuring method of SD is carried on toward three classes of image having different typical characteristics of fluctuation, and then remarkable difference of psychological measurement is verified by way of variance analysis method. A conclusion is made that the image with $1/f$ fluctuation characteristics is harmonious and beautiful.

Key words: affective information of image; $1/f$ fluctuation; power spectral density; SD; harmonious feeling

1 引言

近年来,随着多媒体技术的飞速发展,将图像信息和语音信号自由地进行处理已成为现实.在此基础上,人们还希望利用计算机来进行情感信息处理.以往对于情感的研究均局限于心理学范畴,现在通过图像处理、计算机图形学、语音处理和人工神经网络等技术,可将情感信息处理与电子学及信号处理等领域联系起来.目前,日本、美国等发达国家已经开始对情感科学领域进行研究和探索,但国内尚很少有人涉足该领域的研究^[1~5].

本文以图像的情感信息为研究对象,首先建立二维波动的数学模型,然后基于“ $1/f$ 波动”理论^[6]提出一种图像波动分析的新方法,接着采用 SD (Semantic Difference) 尺度法,对不同波动规律的图像进行主观和谐感评价,同时使用单因素方差分析法讨论了主观和谐感评价结果差异的显著性.研究证实了本文所提出的波动特性分析算法的可行性和正确性,同时证明了符合“ $1/f$ 波动”规律的图像能够给人和谐与美的感

觉.

2 什么是 $1/f$ 波动

自然界中不存在绝对静止的事物,一切事物必定随时间或空间的推移而发生变化.我们将某个物理量在宏观平均值附近的随机变化称为“波动 (fluctuation)”.从物理上讲,存在于自然界中的波动,可以按功率谱密度与频率的对应关系进行分类.其中有三种典型的波动:一种是完全无规律的“白色波动 (白色噪声)”,其功率谱密度与频率 f 之间的关系为一常数,如图 1(a) 所示,称之为“ $1/f^0$ 波动 ($1/f^0$ 噪声)”,该波动令人感到烦躁不安;另一种是相关性很强的“布朗波动 (布朗噪声)”,其功率谱密度与 f^2 成倒数关系,如图 1(c) 所示,称之为“ $1/f^2$ 波动 ($1/f^2$ 噪声)”,该波动令人感到单调乏味;介于上述两种波动之间的是一种在局部呈无序状态,而整体具有一定相关性的波动,其功率谱密度与频率 f 成倒数关系,如图 1(b) 所示,称之为“ $1/f$ 波动 ($1/f$ 噪声)”.该波动令人感到舒适、和谐^[7].

“1/f 波动”之所以使人感到舒适和谐,是因为它与幽静小溪的潺潺流水和徐徐袭来的清风的变化规律,以及在安静、愉快时的脑电波、心率周期等生物信号的变化节奏相吻合,是一种与人的情绪、感觉有着密切关系的波动。“1/f 波动”能够给予我们各种各样的信息,是信息获取、处理的新理论和新方法,是一个具有广阔前景的研究宝库。

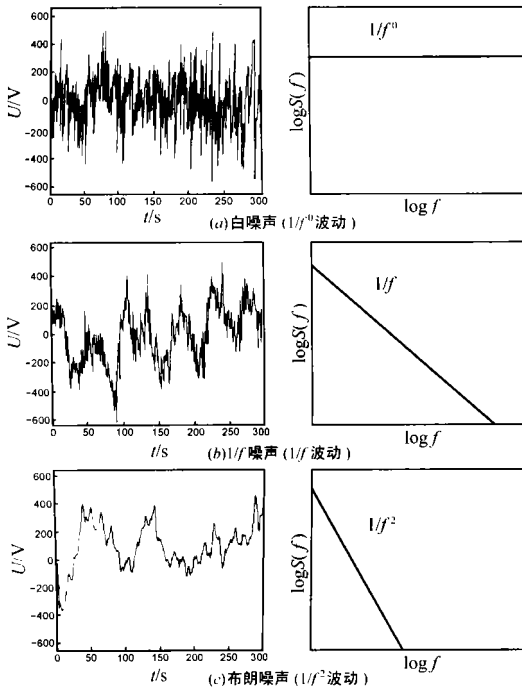


图 1 典型噪声

3 图像的情感特征分析

3.1 二维 1/f 波动定义

根据参考文献[6],一维 1/f 波动的数学模型为

$$S(f) = Kf^{-1} \quad (1)$$

式中: S 为功率谱密度; f 为频率; K 为系数。

将 $X-Z$ 平面上的 1/f 线绕 Z 轴旋转一周,得到 1/f 面,该面的 1/4 区域如图 2 所示。

1/f 面的数学模型为

$$S(r) = K \times r^{-1} \quad (2)$$

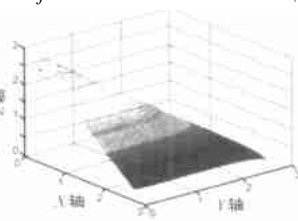


图 2 1/f 波动面

式中: $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ 。所以在柱坐标下,任意的 $\theta = 0$ 面与该 1/f 面的相交线是 1/f 线,即

$$\begin{cases} S(r) = K \times r^{-1} \\ \theta = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)使二维 1/f 波动和一维 1/f 波动得到了很好地吻合。由此也可以得到二维波动的数学模型为

$$S(r) = K \times r^{-1} \quad (4)$$

当 $\theta = 1$ 时为 1/f 波动。

3.2 图像频谱信息抽样

首先读取图像(假定图像的大小为 $N \times N$ 个像素)像素的 RGB 值,然后对三原色 R、G、B 和颜色三属性 H、S、I 中的其中一个进行二维 Fourier 变换,得到对应的频谱信息。

用 $x(m, n)$ 表示原始图像的一个属性值(如 R、G、B、H、S 或 I),用 $X(k, l)$ 表示对应的频谱,则

$$X(k, l) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} x(m, n) W_N^{km} W_N^{ln} \quad (5)$$

式中: $W_N^{km} = e^{-j2\pi(km/N)}$, $W_N^{ln} = e^{-j2\pi(ln/N)}$, $(k, l, m, n = 0, 1, 2, \dots, N-1)$, 对应的功率谱密度为

$$S(m, n) = \frac{1}{N^2} |X(m, n)|^2 \quad (6)$$

求出的图像幅度谱如图 3 所示。为了判断图像的二维波动特性,本文根据二维 1/f 波动的定义,同时参考式(3),以不同的相角对图像进行频谱信息抽样,把复杂的二维波动分成多个一维波动进行分析。

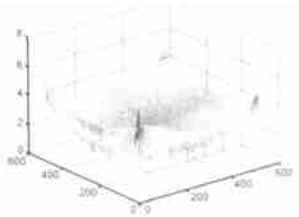
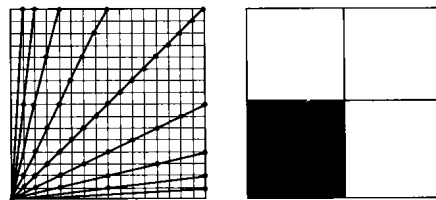


图 3 图像的幅度谱

由于幅度谱是轴对称的,因此如图 4 所示在 1/4 区域上以 9 道数据为例对抽样方法进行说明。



(a) 对应于 (b) 的阴影部分 (b) 图像的幅度谱,分成四个部分

(a) 对应于 (b) 的阴影部分 (b) 图像的幅度谱,分成四个部分 (圆点表示抽样数据)

图 4 幅度谱抽样

用 $X_{s,k}$ 表示抽样的第 k 道数据, X 表示图像的幅度谱,则

$$X_{s,k}(n) = X(m, n) \quad (7)$$

式中:

$$0 \leq n \leq m < N/2, n = 0, 1, 2, 3, \dots, m = \frac{32}{2^k} n, k = 1, 2, 3, 4, 5$$

$$X_{s,k}(n) = X(n, m) \quad (8)$$

式中:

$$0 \leq n \leq m < N/2, n = 0, 1, 2, 3, \dots, m = \frac{2^k}{32} n, k = 6, 7, 8, 9$$

以上述方法对图 5(a) 图像抽样的 9 道数据(R) 的功率谱密度如图 5(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i) 和 (j) 所示。

从图 5 可以看出:该图像的 R 属性进行抽样得到的各道数据的功率谱密度趋势均接近于“1/f 线”,在研究中,抽取了大量的多道数据,其功率谱密度的趋势也与图中所示 9 道数据的趋势相同,所以该图像在统计意义上符合 1/f 波动规律。

3.3 情感特征分析

图像的波动特性分析按以下几个步骤进行:

- (1) 利用式(5)和式(6)求出图像的功率谱密度。
- (2) 利用式(7)和式(8)对功率谱密度进行抽样,得到 9 道

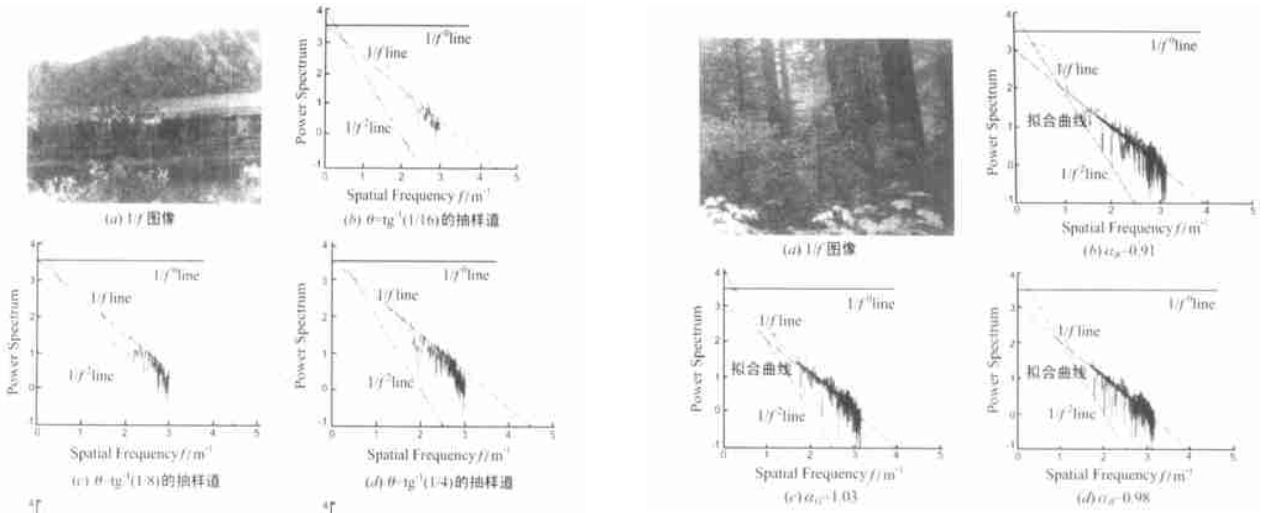


图 6 Picture1 = 0.97

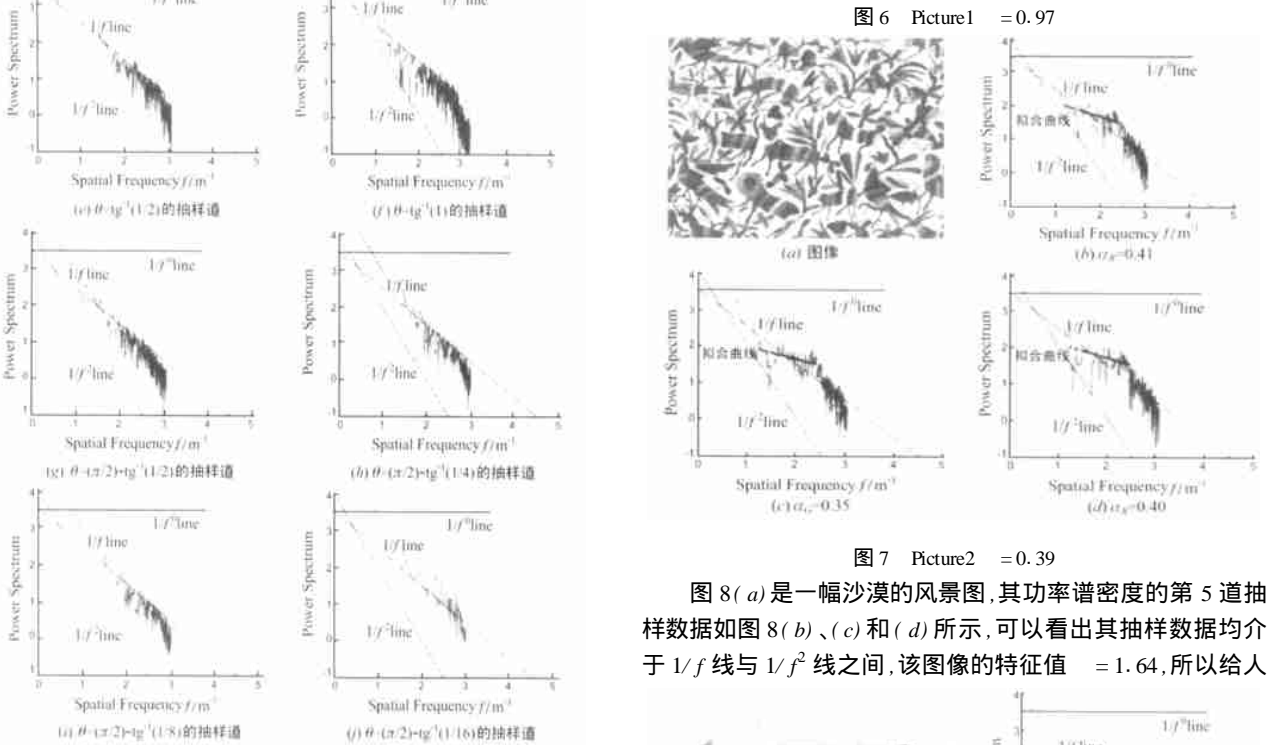


图 7 Picture2 = 0.39

图 8 (a) 是一幅沙漠的风景图, 其功率谱密度的第 5 道抽样数据如图 8 (b)、(c) 和 (d) 所示, 可以看出其抽样数据均介于 $1/f$ 线与 $1/f^2$ 线之间, 该图像的特征值 $\alpha = 1.64$, 所以给人

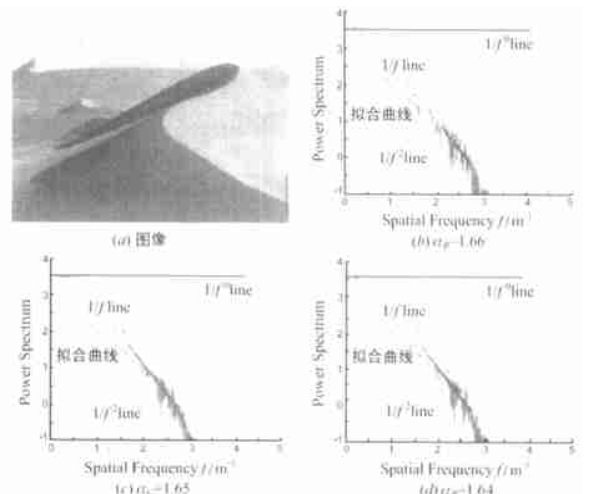


图 8 Picture3

图 5 功率谱密度的多道抽样

数据.

(3) 利用最小二乘法对各道数据分别进行曲线拟合, 求出其波动特征值, 将它们的算术平均值作为图像波动特征值.

图 6 (a) 是一幅大自然的风景图, 根据以上步骤求出该图的功率谱密度和特征值. 图 6 (b)、(c) 和 (d) 所示分别为该图像三原色 RGB 的功率谱密度的第 5 道抽样数据, 可以看出其抽样数据均接近于 $1/f$ 线, 并且该图像的特征值 $\alpha = 0.97$, 所以它给人一种和谐、舒适感.

图 7 (a) 图像 RGB 的功率谱密度的第 5 道抽样数据如图 7 (b)、(c) 和 (d) 所示, 可以看出在低频端其抽样数据介于 $1/f^0$ 与 $1/f$ 线之间, 该图像的特征值 $\alpha = 0.39$, 所以该图像给人一种杂乱的感觉.

一种单调的感觉.

4 图像的和諧感评价

上节中的定量分析是对图像的客观评价,但它是否能够真实地反应人对图像的鉴赏感觉,这就需要对人的感觉进行测试.“和諧感”是人的主观感受,每个人由于其性格和生活环境的差异,对同一事物的评价也会产生一定的差异,即使是同一个人,其感觉也会随心情的变化而发生改变,所以很难确定一个评价“和諧感”的标准.因此,有必要寻找一种可以消除每个人判断误差影响的评价方法.

4.1 SD (Semantic Difference) 尺度法

本文以 42 位年龄在 20 ~ 26 岁的男女大学生为测试对象,对图像进行主观评价,以此减少误差的影响.测试时室内气温为零上 20 左右.人们对同一类事物进行评价时,通常是分成若干阶段进行相对评价.因此本文采用相对评价的方法,让被测试者分别对接近于 $1/f^0$ 、 $1/f$ 和 $1/f^2$ 的图像做出主观评价.

人们对事物的评价通常是在综合各种因素后做出的,因此我们对各种因素采用 SD 尺度法分别进行评价.本文选择了 7 种因素,即:单调—杂乱、喧闹—安静、沉闷—欢快、俗气—大方、颓废—振奋、不自然—自然和不美—美.然后将每种因素分成 5 个等级 (-2、-1、0、1、2),用成对的反义词进行相对评价,据此对“和諧感”进行综合评价.

本文使用各被测试因素的平均值讨论具有不同波动规律图像的和諧感,各被测试因素的平均评定值如图 9 所示.

由图 9 可以看出,接近于 $1/f^0$ 波动的 Picture2 明显具有杂乱、喧闹和不自然的特征,所以 Picture2 给人以烦躁的感觉;接近于 $1/f^2$ 波动的 Picture3 则明显具有单调的特征,所以 Picture3 给人以呆板的感不自然;而接近于 $1/f$ 波动的 Picture1 介于单调和杂乱之间,明显具有自然、美的特征,给人以和諧、心旷神怡的感觉.

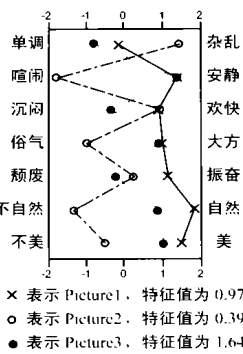


图 9 各被测试因素的平均评定值

4.2 测试数据的可信度验证^[8]

方差分析是一种处理实验结果的统计方法,它用来对实验结果中各组数据的平均数差异进行显著性检验,本文使用单因素方差分析对 SD 尺度法中的统计平均值进行显著性检验.

本测试的设计为一个 $S_{42}A_3$ 的单因素方差分析,自变量为不同波动规律的图像,让每个被试者同时参加所有水平的测试,所以是一个组内设计, A_3 表示自变量有 3 个水平(三幅图像), S_{42} 表示被试有 42 人.由于在组内设计中对每个被试者测试条件相同,所以不存在组间被试变异,只有组间变异 (A)、偶然因素造成的变异 (S) 和组内的被试变异 (SA).为了确定自变量对因变量产生的影响,定义比例值 F

$$F = \frac{MS_A}{MS_{SA}} \quad (9)$$

式中: MS_A 为组间方差, MS_{SA} 为组内方差.

表 1 为对单调—杂乱语言对进行方差分析的结果.

表 1 方差分析表

	自由度 (df)	和方 (SS)	均方 (MS)	F	概率 (P)
组间变异 (A)	2	118.05	59.02	100.03	$P < 0.005$
被试变异 (S)	41	22.19	0.54		
组内变异 (SA)	82	48.62	0.59		

由 F 值表可知,当 $df(2, 60)$ 时(表中无 $df(2, 82)$), $F = 5.79$, $P = 0.005$. 而实际的 F 值 $100.03 \gg 5.79$, 所以 $P < 0.005$. 说明在 0.005 水平上差异是显著的. 其它因素的 F 值如表 2 所示.

从表 2 可以看出,各种因素的平均值均大于 5.79, 即各种因素在 0.005 水平上差异均是显著的.

根据上述分析结果,可以认为三幅图像在各种因素上的差异是显著的,但还需进一步利用 Newman-Keuls 检验法对任意两幅图像之间的差异性是否显著进行检验. 该检验方法首先要计算出一个 q 值,

$$q = \frac{\bar{X}_{\max} - \bar{X}_{\min}}{MS_W / n} \quad (10)$$

即 $q = \sqrt{MS_W / n} (\bar{X}_{\max} - \bar{X}_{\min})$ (11)

式中: $MS_W = MS_{SA}$ 为组内方差, \bar{X}_{\max} 为被测试因素的最大平均评定值, \bar{X}_{\min} 为被测试因素的最小平均评定值. 检验的指标为 $q = \sqrt{MS_W / n}$, 当被测试因素的平均评定值的差大于 $q = \sqrt{MS_W / n}$ 时,则可认为该因素的平均评定值在相应水平上差异显著.

对于单调—杂乱因素来说,由 q 值表列 q 和 $q = \sqrt{MS_W / n}$ 值,如表 3 所示. 本实验中, $MS_W = MS_{SA} = 0.59$, $n = 42$, $df_{SA} = 82$ 如表 1 所示. 由图 9 可知, picture1、picture2 和 picture3 的平均评定值分别为 -0.21、1.40、-0.90, 对应的平均评定值的梯级为 2、3、1.

对于 picture1 和 picture2 来说, $r = 3 - 2 + 1 = 2$, $1.40 - (-0.21) = 1.61 > 0.45$, 所以差异在 0.01 水平上显著;同理, picture1 和 picture3 二者的差异在 0.01 水平上显著, picture2 和 picture3 之间的差异在 0.01 水平上显著. 上述说明: 三幅图像在单调—杂乱因素上的差异性都是两两显著的.

在由 7 种因素和三幅图像组成的 21 个组合中,有 18 个组合在 0.05 水平上是差异显著的,仅有三个组合在 0.05 水平上是不显著的. 所以可以认为主观评价平均评定值差异是显著的,实验结果是可信的.

5 结论

本文提出的二维波动数学模型,为评价二维波动特性提供了一个客观标准;提出了一种图像波动特性分析的算法,证

表 2 各种因素的 F 值

因素	F 值
单调—杂乱	100.0
喧闹—安静	190.3
沉闷—欢快	18.32
俗气—大方	48.82
颓废—振奋	23.67
不自然—自然	123.5
不美—美	48.33

表 3 q 和 $q = \sqrt{MS_W / n}$ 值表

r	2	3
$q_{0.05}$	2.83	3.40
$q_{0.01}$	3.76	4.28
$q_{0.05} \sqrt{MS_W / n}$	0.34	0.40
$q_{0.01} \sqrt{MS_W / n}$	0.45	0.51

实了符合 $1/f^0$ 波动规律的图像给人杂乱烦躁的感觉,符合 $1/f^2$ 波动规律的图像给人单调乏味的感觉,而符合 $1/f$ 波动规律的图像则给人和谐、舒适和美的感觉. 利用 SD 尺度法对不同波动规律图像进行心理测试的结果说明了主观测试和客观分析的一致性. 利用方差分析法证实了 SD 尺度法测试结果的可信度. 该研究可对书画的客观评价以及图案和花色的自动设计起到积极的推动作用.

参考文献:

- [1] Shuji Hashimoto. Introduction to kansei information processing [J]. Journal of Japan Society for Image information Media, 1998, 52(1) :41 - 45.
- [2] Saburo Tsuji. Kansei information processing [J]. Journal of Japan Society for Robot, 1999, 17(7) :916 - 919; 9(6) :861 - 869.
- [3] Sloman Aaron. Review of Affective Computing [J]. AI Magazine, Spring, 1999, 20(1) .
- [4] Healey J A Wearable. Automotive Systems for Affect Recognition from Physiology [D]. Dept. of Electrical Engineering and Computer, May 2000 Science, MIT.
- [5] 毛峡. 情感信息处理 [J]. 遥测遥控, 2000, 21(6) :58 - 62.
- [6] Musha T. $1/f$ fluctuation [J]. Journal of Japan Society for Physical Application, 1977, 46(12) :1144 - 1155.
- [7] 佐治晴夫. $1/f$ ゆらぎとその応用 [J]. 日本 システム制御/情報, 1993, 37(12) :689 - 695.
- [8] 杨博民, 等. 心理统计方法 [M]. 光明日报出版社, 1989.

作者简介:



毛 峡 北京航空航天大学副教授 博士 主要从事情感信息处理、 $1/f$ 波动理论、图像处理和 EDA 等领域的研究.



丁玉宽 1976 年出生. 2001 年 3 月于北京航空航天大学电子工程系获得工学硕士学位. 研究方向为图像处理、情感信息处理.

牟田一弥 日本京都大学工学部电气工程系教授, 工学博士, 主要从事超导应用、电力电子、 $1/f$ 波动理论和模糊控制理论等领域的研究.