

图像视觉感知信息的初步研究

余英林, 田 菁, 蔡志峰

(华南理工大学电子与通讯工程系, 广东广州 510641)

摘 要: 图像质量评价是图像处理领域中的重要方向, 传统的图像质量评价方法不能有效的反映人眼对图像的视觉感知. 本文从观察者对图像的感知理解出发, 指出在一幅失真图像处理过程中, Shannon 信息量逐渐减少, 观察者对图像的理解不断加深, 图像包含的感知信息增大. 我们从图像灰度特征, 直方图, 频带, 图像理解的变化等方面初步定义了图像感知信息参量, 并利用 sigmoid 函数给出了感知信息的初步计算方法, 实验结果初步说明了感知信息的有效性和可行性.

关键词: 图像质量评价; 神经元; 感知信息

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2001) 10-1373-03

Research of Perceptive Information of Image

YU Ying-lin, TIAN Jing, CAI Zhi-feng

(Dept. of Electronic and Comm. Engineering, South China Univ. of Tech., Guangzhou, Guangdong 510641, China)

Abstract: Image quality evaluation is an important field of image processing, but classical image quality evaluation method can not represent knowledge perceived by human eyes. In this paper, we propose that in the case of distorted image processing, the perceptive information of image is increasing while Shannon information is decreased. We define some perceptive parameters, such as the change of texture character, histogram, frequency spectrum, knowledge of image, and we calculate the perceptive information using sigmoid function. The results show that the perceptive information is valid and reasonable.

Key words: image quality evaluation; neural; perceptive information

1 引言

在图像处理领域中, 如何评价一幅经过处理的图像的质量好坏, 如何评价某个图像处理算法的优劣一直是人们关心的问题. 然而图像质量评价没有统一的测度, 例如对于一个基本的图像二值化算子, 就无法严格评价其质量的优劣. 传统的图像质量评价方法有客观评价和主观评价两大类. 客观评价方法, 如广泛使用的 MSE, PSNR 等是纯误差测度, 即原始图像与恢复图像之间的数学统计差别, 没有考虑到人类的视觉感知特性, 而且应用客观评价方法时需要知道原来的标准图像, 然而在解决实际问题中, 往往是在不确定知道图像的内容是什么的情况下, 要求对图像进行增强或者恢复, 因此无法使用客观评价方法, 只能采用主观评价方法. 图像的主观评价方法是请许多人观测一系列测试图像, 与标准图像进行比较, 对图像的质量进行打分, 这种打分的随意性很大, 同一个人不同情况下对同一幅图像可能会打出不同的分.

由此可见, 图像质量评价是当前图像处理领域内的前沿课题. 本文着重讨论观察者从一幅图像中可以获得多少知识, 同时这些知识能否转化为视觉信息, 我们将尝试定义一些简单的视觉信息, 并且利用神经细胞受刺激函数和人类视觉系

统(HVS)的响应函数对视觉信息进行定量的分析.

2 图像视觉信息研究现状

从已有的文献报道可以看出, 图像视觉信息研究涉及许多学科, 如心理学, 神经生理学, 彩色表现和情感, 线条表达和情感等等. 视觉信息的定量因子很难确切的定量描述, 但是可以用模糊函数的方法在一定程度上, 一定范围内描述. 目前国内外对图像视觉信息研究包括下面几个方面. (1) 视觉信息特征的研究. 这方面的工作是以意大利 Florence 大学的视觉信息处理实验室 (Visual information processing lab) 的工作为代表. 其代表性著作 (文献 [1]) 综合报道了他们从 1996 年至 1999 年 9 月的工作. 他们从语义学 (semantics) 层次系统研究了图像和视频的视觉信息特征的提取, 并用模糊集理论进行定量分析, 分析结果可以用于基于内容的信息表达和检索. 他们对图像视觉信息特征参数进行了深入研究, 但是没有进一步定义视觉信息量, 以及如何使观察者接受到最大的视觉信息量. (2) 多媒体技术的发展促进了 MPEG-4 系统的问世, 又进一步促生了拟定中的 MPEG-7 系统, 文献 [2] 指出 MPEG-7 是一个多媒体内容描述界面 (multimedia content description interface) 它的

收稿日期: 2000-06-16; 修回日期: 2000-09-20

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 69772026); 广东省自然科学基金 (No. 970484)

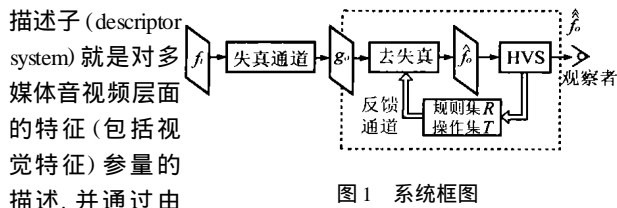


图1 系统框图

描述子 (descriptor system) 就是对多媒体音视频层面的特征 (包括视觉特征) 参数的描述, 并通过由描述子组成的系统对描述信息进行分析合成处理, 由此可见, MPEG7 的诞生将大大促进视觉信息研究的发展. (3) 文献[3、4]报道了一些研究者利用主观评价因素改进图像编码性能, 利用视觉信息特征进行线结构提取等等, 这些也充分说明图像主观评价和视觉信息的研究具有重要意义.

3 本文研究问题的系统描述

本文所研究的问题可以用图1中的框图描述, 并且重点研究虚线范围内的部分. 目的是从视觉感知信息使观察者获得尽可能多的感知信息. 图中 f_i 为输入理想图像, g_0 为 f_i 失真输出, 我们把 g_0 作为输入, 首先在观察者的指导下, 根据失真情况, 选择合适的算法和滤波器进行去失真操作, 然后检测图像的视觉感知信息特征, 进行图像分析和模式识别, 提取感知信息, 最后计算视觉感知信息量. 在上述过程中, 所需的操作, 算法均从操作集 T 中获取, 图像分析的规则从规则集 R 中获取. 最后观察者得到的可以是一幅图像, 也可以是一些分析描述的数据, 也称为描述子 (descriptor, descriptor system), 它包括视觉描述子系统 (visual information descriptor system).

4 本文的工作

根据以上思路, 我们做了下面的初步工作.

4.1 图像 Shannon 信息量随着去失真操作过程的深入逐渐减少的证明

在观察者指导下选择操作集 (规则集) 的过程可以表示为条件概率中的条件, 根据概率知识我们不难得出下面条件概率的关系式.

$$\frac{P(f/T, R, g_0)}{P(f/T, R)} = \frac{P(T, R)}{P(g_0)} * \frac{P(g_0/f, T, R)}{P(T, R/g_0)}$$

对上式两边同时取对数, 并根据互信息量的定义可得到

$$I_{f_0}(f_0/T, R) - I_{f_0}(f_0/f, T, R, g_0) = I_{TR}(T, R/g_0) + I_{g_0}(g_0) - I_{g_0}(g_0/f, T, R) - I_{TR}(T, R)$$

进一步可以得到

$$I_{f_0}(f_0/T, R; g_0) = I_{g_0}(g_0; f_0, T, R) - I_{TR}(T, R; g_0)$$

上式左边表示在给定 T, R 下, 去失真操作通道传递的互信息量, 上式右边的一项表示去失真操作信道传递的互信息量, 第二式表示反馈信道传递的互信息量, 该项恒为正. 所以, 在观察者的指导下, 即在选定操作集 T , 规则集 R 的情况下, 信道传递的互信息量是减少的.

4.2 图像感知信息的估计

我们从图像的知识分析中获取感知信息特征, 根据 HVS 的神经元刺激规律获得这些特征量的刺激量 (归一化在 $[0, 1]$ 范围内), 再输入到 HVS 的视野特性中获得 HVS 的视野感知输出. 随着对图像的去失真处理, 图像越来越清晰, 特征逐渐

体现. 我们在文献[5]中已经发表了初步结果, (该文已经收录入 SCI2000 论文集中). 下面是图像感知信息的一些参量.

(1) 灰度特征 根据研究发现, 人们观察图像时对图像的特征点, 特征线, 角, 边缘线, 轮廓线非常敏感. 文献[6]报道了人类视觉系统如何从边缘线段推理物体的边界, 有了这些特征点, 特征线, 角, 边缘线, 轮廓线, 人们就可以识别该物体, 从而进一步获取其他知识. 文献[7]报道了人类神经系统的自激加强作用. 所以我们在文献[5]中提出利用特征点数 (包括角度的顶点) x_1 和边沿 (包括特征线段数) x_2 作为感知信息的计算参数之一.

定义

$$x = k_1 x_1 + k_2 x_2$$

式中 k_1 和 k_2 是加权系数, x_1, x_2 的单位均是百分比.

(2) 灰度直方图 空间频带的变化. 图像的直方图是图像灰度级的概率统计, 研究发现失真图像的直方图变得粗糙或者平滑, 经过去失真处理后, 直方图与原图像更为相似, 采用图像直方图相似度来分析两幅图像直方图之间变化的程度.

直方图相似度定义为

$$s(I, J) = \frac{\min_{n=1}^N (I_n, J_n)}{I_n}$$

式中, N 是图像总的灰度级数, I_n, J_n 是两幅图像相应颜色级数的像素数. 图像经过 FFT 变换后, 在频域上, 模糊图像较原始图像的频带变窄, 在去失真处理过程中, 随着处理的深入, 图像细节不断清晰, 高频分量不断得到补充.

以上直方图的变化 H 和频带的变化 B 也可以作为感知信息计算参数之一.

定义

$$s = k_3 H + k_4 B$$

式中 k_3, k_4 也是加权系数.

(3) 图像理解的知识信息 我们采用树状结构对图像内容进行分析, 根结点为整幅图像, 图像的各个部分为子节点. 一般来说, 树的低层节点表示图像的粗信息, 高层节点代表细节信息. 随着图像去失真处理的深入, 细节信息不断涌现, 观察者对图像的理解也越来越深.

近年来发展起来的小波变换具有多分辨率分析性能, 能较好的与人类视觉系统 (HVS) 性能结合. 所以我们对图像进行小波分解, 把可以看得清的子带层数 l 和考虑了 HVS 方向特性的能看清楚地子带数 n 作为感知信息计算参数.

定义

$$m = k_4 l + k_5 n$$

式中 k_4, k_5 也是加权系数.

我们暂时从以上几个方面定义了感知信息的计算参量.

(4) 计算方法 在获取了上述三个方面的特征参数 x, s, m 后, 我们参照神经元激发特征函数, 选用 sigmoid 函数分别计算上述参数对神经元的刺激输出量 Y_1, Y_2, Y_3 .

对于灰度特征 x 有:

$$Y_1 = K_1 / (1 - e^{-x/(1-x)}) / (1 + e^{-x/(1-x)})$$

对于直方图和频带特征 s 有:

$$Y_2 = K_2 / (1 - e^{-s/(1-s)}) / (1 + e^{-s/(1-s)})$$

对于图像的知识理解 m 有:

$$Y_3 = K_3 / (1 - e^{-m/(1-m)}) / (1 + e^{-m/(1-m)})$$

以上计算方法中 $K_1, K_2, K_3, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$ 都是常数,

使得感知信息位于【0,1】区间内. 为了便于说明,我们将其记作向量表示形式,即 $K = \{K_1, K_2, K_3\}$, $k = \{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5\}$.

5 试验结果

图像感知信息计算的初步实验采用图 2(a)和图 3(a)作为测试图像,把它们经过低通滤波器的输出图像作为失真图像

像,同时采用基于最小均方误差准则的最速下降算法进行图像恢复.对于在一定迭代次数下得到的恢复图像,我们采用 Sobel 算子进行边缘检测,计算特征点,特征线参数 x .对恢复图像统计直方图的信息,并用 FFT 工具统计频谱的变化,计算参数 s .对恢复图像做三级小波分解,计算参数 m .

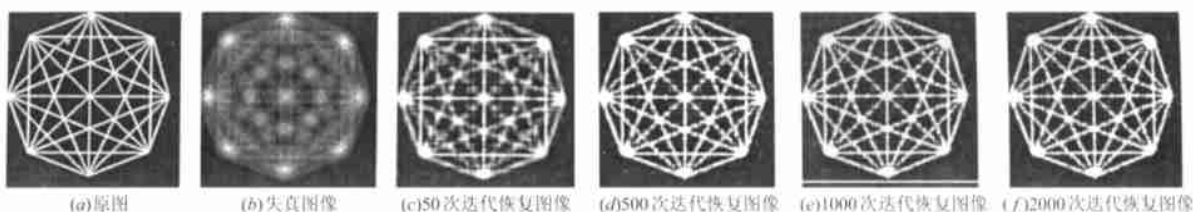


图 2

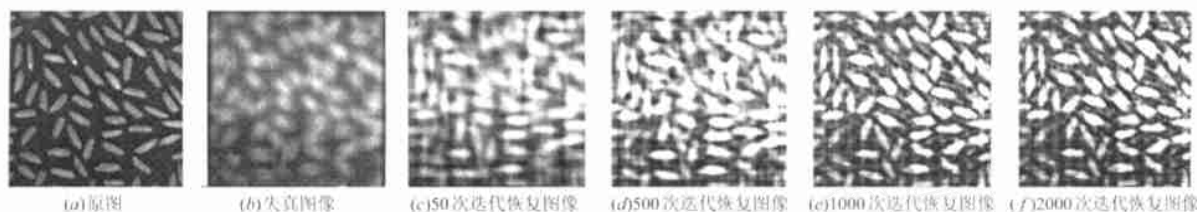


图 3

对于图 2, $K = \{1, 1, 1\}$, $k = \{0.5, 0.5, 0.4, 0.6, 0.4\}$, 图像的各项感知参数如表 1 所示.

表 1

	模糊图像	50 次迭代恢复图像	500 次迭代恢复图像	1000 次迭代恢复图像	2000 次迭代恢复图像
Y1	0.1074	0.1558	0.7910	0.9955	1
Y2	0.1329	0.3135	0.5279	0.9457	1
Y3	0.1333	0.3931	0.8695	1	1

表 2

	模糊图像	50 次迭代恢复图像	500 次迭代恢复图像	1000 次迭代恢复图像	2000 次迭代恢复图像
Y1	0.0263	0.0880	0.2629	0.6351	0.9457
Y2	0.1900	0.3270	0.5976	0.8760	0.9408
Y3	0.1951	0.4116	0.8524	0.9051	1

对于图 3, $K = \{1, 1, 1\}$, $k = \{0, 1, 0.4, 0.6, 0.4\}$, 图像的各项感知参数如表 2 所示. 试验结果表明在失真图像处理过程中,图像的感知信息量是逐渐增加的,感知信息量的计算方法也是有效可行的.

6 结论和展望

本文从观察者对图像的感知理解出发,提出了从图像包含的感知信息的角度进行图像质量评价,给出了图像感知信息的初步计算和度量方法,试验结果初步说明了感知信息的有效性和可行性.

参考文献:

- [1] Carlo colombo, Alberto Del Bimbo, Pietro Pala. Semantics in visual information retrieval [J]. IEEE journal of multimedia. 1999, 7(9):38 - 53.
- [2] Frank Nack, Adam T. lindsay. everything you wanted to know about

Mpeg-7 [J]. IEEE multimedia 1999, 7(9):65 - 77.

- [3] 魏征刚,袁杰辉,蔡元龙.一种基于视觉感知的图像质量评价方法[J].电子学报.1999,27(4):79 - 84.
- [4] 汪孔桥,沈兰荪,邢昕.一种基于视觉兴趣性的图像质量评价方法[J].中国图像图形学报.2000,4:300 - 303.
- [5] Yinglin Yu, Chunling Yang, Jing Tian. Studies on information aspects of image processing system [A]. SCI '2000 国际学术会议论文集[C]. 2000, Orlando USA.
- [6] Anca L. Ralescu, James G. Shanahan. Perceptual organization for inferring object boundaries in an image [J]. Pattern recognition, 1999, 32: 1923 - 1933.
- [7] 郭雷,刘天明.随机时分神经计算理论用于视觉曲线自激增强[J].电子学报.2000,28(1):35 - 38.
- [8] Alberto Del Bimbo. Visual information retrieval [M]. Morgan kaufmann Inc. San Francisco california. 1999.

作者简介:

余英林 男. 1932 年 9 月生于广东省台山市. 1961 年获中国科学院副博士学位. 现为华南理工大学电子与通信工程系教授、博士生导师. 目前的主要研究方向包括图像与图形处理、神经网络、信号处理、模式识别、模糊技术等.



田 菁 男. 1979 年 11 月出生于山东省枣庄市. 1999 年获华南理工大学通信与信息系统专业学士学位. 现为华南理工大学信号与信息处理专业硕士研究生. 主要研究方向包括视频编码与图像处理、模式识别、图像分析等.