基于 NN 与 SVM 的图像质量评价模型

佟雨兵 张其善 常 青 祁云平

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083) (西北师范大学 物理与电子信息工程学院, 兰州 730070)

摘 要: 为了有效地评价图像质量,利用峰值信噪比(PSNR,Pear Signal to Noise Ratio)和结构相似度(SSIM,Structure Similarity)作为图像质量的描述参数,给出"野点"的定义,提出"野点预测"并基于神经网络(NN,Neural Network)与支持向量机(SVM,Support Vector Machines)建立新的质量评价模型:神经网络用来获取质量评价映射函数,支持向量机实现样本分类. 采用 UTexas 图像库数据进行仿真试验,质量评价模型预测图像质量的单调性比 PSNR 提高 7.42% ,质量评价模型预测结果的均方误差平方根比 PSNR 提高 36.06% ,模型性能测试中"野点"的数目相对减少,模型性能得以提高. 试验结果表明该模型的输出能有效地反映图像的主观质量.

关 键 词: 图像质量; 支持向量机; 神经网络

中图分类号: TN 91.21

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)09-1031-04

Image quality assessing model by using neural network and support vector machine

Tong Yubing Zhang Qishan Chang Qing

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Qi Yunping

(College of Physics and Electrical & Information, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Pear signal to noise ratio (PSNR) and structure similarity (SSIM) as two indexes describing image quality were used with neural network (NN) and support vector machine (SVM) to set up new effective image quality assessing model. The definition of isolated points and the prediction of isolated points were illuminated. NN was used to obtain the image quality assessing mapping functions and SVM was used to classify the samples into different types. UTexas image database was used in simulation experiment. With the same level of consistency of quality assessing model, the prediction monotonicity of the model is 7.42% higher than PSNR. The root mean square error (rmse) of the model is 36.06% higher than PSNR. The number of isolated points with the new model was reduced and the performance of the model was enhanced. The results from simulation experiment show the model valid. The output of the new model can effectively reflect the image subjective quality.

Key words: image quality; support vector machines; neural networking

图像质量评价从方法上可以分为主观评价方法和客观评价方法,前者凭感知者主观感受评价对象的质量;后者依据模型给出的量化指标或参数衡量图像质量. 现阶段研究以后者为主,研究的重点是减少主客观质量评价之间的偏差.

多数图像质量客观评价基于人眼视觉系统(HVS,Human Visual System)的生理特征来建模型,如 Daly 的 VDP 模型[1]、Teo 和 Heeger 的矩阵模型[2]、Watson 的 DCT 矩阵模型[3]、Bradley 的小波域模型 WVDP[4]等. 由于当前对 HVS 的认知有

收稿日期: 2005-11-29

作者简介: 佟雨兵(1977-),男,山东济宁人,博士生, ybtong@ee.buaa.edu.cn.

限,当具体实例与已有认知相差较大时,质量评价的结果会产生较大的偏差.

图像峰值信噪比利用图像像素灰度值进行统计和平均计算而未涉及图像内容特征,不足以反映人眼视觉的性能. SSIM(Structure Similarity)是一种基于结构失真衡量图像质量的客观评价方法[5]. SSIM 较好地利用了图像自身的信息,故可以利用 PSNR(Pear Signal to Noise Ratio)和 SSIM 相结合,改进 PSNR 评价图像质量的性能. 在对 PSNR 和 SSIM 分析的基础上,本文提出二者结合构建新的图像质量评价模型,同时,利用支持向量机实现样本分类. 不同类样本采用不同的质量评价映射函数,有效限制了"野点"即主客观质量评价差别明显的点对评价模型性能的影响. 其中,质量评价映射函数利用神经网络算法确定. 目前,尚未有二者联合应用的文献.

1 图像质量评价分析

1.1 PSNR 用于图像质量评价

PSNR 的定义如下:

$$Q_{\mathrm{PSNR}} = 10\lg\left(\frac{255^2 \cdot M \cdot N}{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}[a(i,j) - \hat{a}(i,j)]^2}\right) \quad (1)$$

式中,$a(i,j)$和 $\hat{a}(i,j)$分别为原始图像与重建图像中对应的灰度值或色彩值;$M \cdot N$ 为图像的总像素数. PSNR 忽略了图像内容对人眼的影响,不能完整反映出图像的主观质量. 相对同一个原始信号 $a(i,j)$,相同 Q_{PSNR}的 2 个失真信号 $\hat{a}_1(i,j)$和 $\hat{a}_2(i,j)$并不一定相同. 若

$$|a(i,j) - \hat{a}_1(i,j)| = |a(i,j) - \hat{a}_2(i,j)| \quad (2)$$

则 $\hat{a}_1(i,j) = \hat{a}_2(i,j)$,或 $\hat{a}_1(i,j) + \hat{a}_2(i,j) = 2a(i,j)$. 因此,即使 Q_{PSNR}相同,$\hat{a}_1(i,j)$,$\hat{a}_2(i,j)$并不一定相同,在人眼看来也可能会相差甚远[6]. PSNR 是通用的信号质量评价指标,对于多数图像质量评价仍是有效的;视频质量专家组 VQEG(Video Quality Expert Group)已经评价了 10 种质量评价模型,但最终没有确定出一种模型作为标准模型. 从统计的角度来讲,这些模型取得的结果与 PSNR 没有显著区别[7]. 因此,本文仍将 PSNR 作为图像质量评价一个有意义的参考指标,但需要对 PSNR 产生"野点"的情况进行校正以提高质量评价的准确性.

1.2 SSIM 用于图像质量评价

基于结构失真进行视频质量客观评价的依据是 HVS 高度适合于提取视觉场景中的结构信息,从而测量结构信息的改变与感知图像质量的变化非常接近,原理框图如图 1 所示.

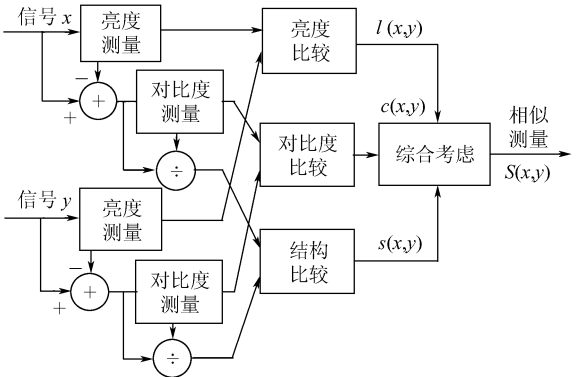


图 1 SSIM 的原理框图

图中,$l(x,y)$是亮度比较函数;$c(x,y)$是对比度比较函数;$s(x,y)$是结构比较函数;3 个函数相对独立. 3 个比较函数定义如下:

$$\left.\begin{aligned} l(x,y) &= \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \\ C_1 &= (K_1 L)^2 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} c(x,y) &= \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \\ C_2 &= (K_2 L)^2 \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

$$s(x,y) = \frac{2\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (5)$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (6)$$

式中,L 为像素值的动态变化;$K_1, K_2 \ll 1$;μ_x, μ_y 是亮度均值作为亮度估计;σ_x, σ_y 是标准方差. 信号 x 和 y 之间的 SSIM 值为

$$Q_{\mathrm{SSIM}} = [l(x,y)]^{\alpha} \cdot [c(x,y)]^{\beta} \cdot [s(x,y)]^{\gamma} \quad (7)$$

其中,$\alpha, \beta, \gamma > 0$,这 3 个参量对亮度、对比度和结构信息进行权值调整. 文献[8]采用 SSIM 在部分图像上进行质量评价取得了较好的效果. 但实际情况下,$S(x,y)$与 $l(x,y)$,$c(x,y)$,$s(x,y)$之间存在非线性的映射关系,式(7)将其固定为三者幂乘积的形式容易产生误差;单独利用 SSIM 方法进行性能测试时,在主客观质量评价关联图中仍然存在着一些"野点",这些"野点"降低了质量评价的准确性. 本文将 SSIM 值作为描述图像质量的一个参数,结合 PSNR 对"野点"问题进行考虑.

2 一种新的图像质量评价模型

本文利用 PSNR 和 SSIM 作为质量描述参数,联合应用神经网络与支持向量机进行图像质量客

观评价,具体的操作流程如图 2 所示.

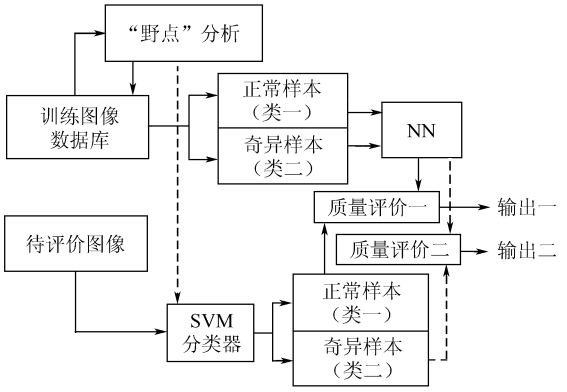


图 2　图像质量评价操作流程

整个流程分为 3 个阶段:①“野点”分析;②“野点预测”与 SVM(Support Vector Machine)分类;③面向分类的图像质量评价映射函数.

2.1　“野点”分析

定义 1　图像质量评价模型的主客观评价关联图中,若某样本其主观评价值与客观评价值相差较大,将其定义为“野点”. 主客观评价值的偏差可以采用 2 种方式来衡量:

1) 空间距离表示:

若 $|S_{\mathrm{MOS}}-E_{\mathrm{obj}}|\geqslant\theta_{\mathrm{th}}$,将该样本在主客观评价的关联图中定义为“野点”;

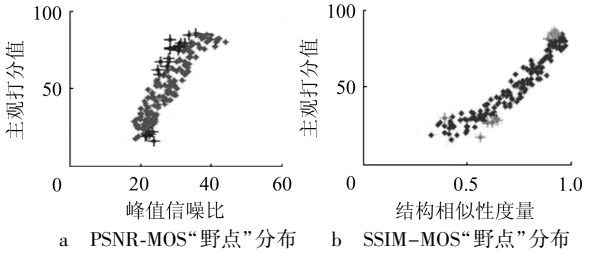
2) 斜率表示:

若 $\begin{cases}(S_{\mathrm{MOS}}/E_{\mathrm{obj}})\geqslant\theta_{\mathrm{th}}\\ \text{或}\\ (S_{\mathrm{MOS}}/E_{\mathrm{obj}})\leqslant 1/\theta_{\mathrm{th}}\end{cases}$,将该样本在主客观评价的关联图中定义为“野点”.

其中,S_{MOS}为主观打分值;E_{obj}为客观评价值;θ_{th}为门限值,可以通过实验确定. 在本文中,E_{obj}为Q_{PSNR}或 Q_{SSIM}的数值. 主客观评价值的偏差采用斜率表示时,采用 PSNR 和 SSIM 相应的主客观评价关联图中可能的野点分布如图 3 所示.

2.2　“野点预测”与 SVM 样本分类

“野点”定义时采用了样本的主观评价值 S_{MOS},但实际进行样本图像质量评价时可能没有主观评价值. 那么能否在没有主观值的情况下,对单独采用 PSNR 或 SSIM 可能产生的结果进行预测,预测此时的质量评价值是否会与主观关评价值相差大? 如果可以预测,则对使用 PSNR 或 SSIM 产生的结果进行调整,减少与主观评价值的偏差,以上预测过程即“野点预测”. 进行“野点预测”时,利用“野点”分析的结果,将 PSNR 和 SSIM 2 个指标在未知主观评价值的情况下把质量评价结果预测为正常与非正常 2 类,这可以借助 SVM 分类器来实现.



a　PSNR-MOS“野点”分布　　b　SSIM-MOS“野点”分布

图 3　“野点”分布图

概括地讲,支持向量机就是先通过用内积函数定义的非线性变换将输入空间变换到一个高维特征空间,在这个空间中求广义最优分类面 $f(x;\boldsymbol{w})=(\boldsymbol{\omega}\cdot x)+b$,使得 2 类样本的间隔最大,如图 4 所示,原始空间中线性不可分的样本在特征空间中能较好地分开,l_1,l_2 为分类边界[9].

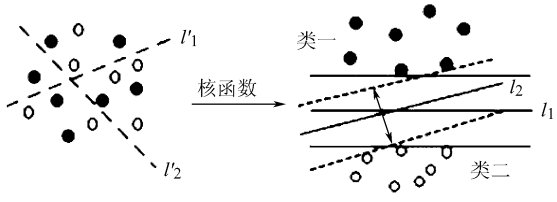


图 4　支持向量机原理示意图

根据平面间距离的定义,这等价于最小化 $\frac{1}{2}\|\boldsymbol{w}\|^2$,引入松弛变量及对偶原理,得到回归函数

$$y=f(x;a)=\sum_{i=1}^{N}(a_i^*-a_i)(x_i\cdot x)+b=\sum_{i=1}^{N}(a_i^*-a_i)K(x,x_i)+b \tag{8}$$

其中,$K(\cdot,\cdot)=(x_i\cdot x)$,称为核函数,满足 mercey 定理[9];$b$ 是一个常数,且对于一般容许的核函数(带有纯数值项),该项可以省略; 系数 $\boldsymbol{a}$,$\boldsymbol{a}^*$ 通过求解一个二次规划问题(QP, Quadratic Problem)获得最优解. 式(8)仅有部分系数非零;非零系数对应的输入量 x_i 称为支持向量,支持向量位于分类边界或分类面上. SVM 分类器是一种基于监督学习的方法,其强大的分类能力保证了类间距离最大.

利用“野点”分析的结果,将样本按照 PSNR 和 SSIM 指标归类重排后,作为 SVM 分类器的训练数据,通过训练获得最终的 SVM 分类器模型. 该分类器的输入为 PSNR 和 SSIM,输出值 1 表示为正常类,输出值 0 表示利用 PSNR 或 SSIM 进行质量评价可能会产生“野点”.

2.3　图像质量评价映射函数的确定

通过野点分析,样本分为正常样本和奇异样本,对二者采用不同的质量评价映射函数. 质量评

价映射函数由神经网络确定,采用图5结构.

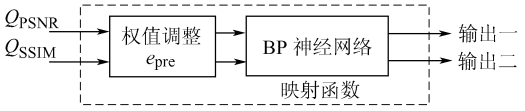


图5 图像质量评价映射函数框图

利用BP(Back Propagation)神经网络训练前,对PSNR和SSIM进行加权运算,即 $e_{pre}=p\cdot Q_{PSNR}+s\cdot Q_{SSIM}$,$p$ 和 s 为权值. 根据实验数据统计,对正常样本,$p=0.4$,$s=0.6$;对奇异样本,二者权重适量调整,权值调整后,利用训练数据,BP神经网络不断调整网络节点间的权值确定出质量评价映射函数.

3 仿真实验及结果分析

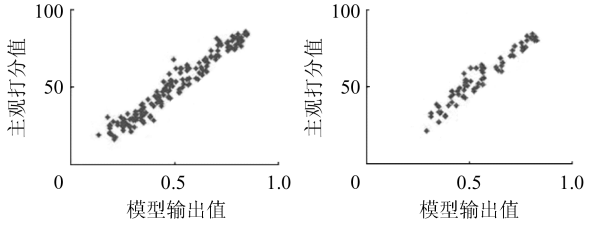
利用美国UTEXAS大学的Image Database的数据进行仿真实验,该库给出了参考图像、压缩后的图像以及压缩后图像即失真图像的主观打分值[10]. 采用SVM分类器和神经网络对样本数据进行处理,对不同类别的图像采用不同的质量评价映射函数. 最后,将模型输出结果与PSNR和SSIM方法进行比较.

图6a为基于训练数据的模型性能测试,图6b为利用样本测试数据得到主客观关联曲线图. 可以看出,本文模型相比PSNR和SSIM方法,主客观质量评价关联图中的"野点"明显减少. 为量化质量评价模型的性能,根据VQEG技术报告,分别计算模型性能测试的几个相关指标 r_p,e_r,O_{or},并与PSNR和SSIM比较,利用100幅图像进行测试,并分别给出了"野点"定义中的2种偏差所计算的结果,见表1. r_p 表征了模型预测结果的单调性,O_{or} 表征了模型预测结果的连续有效性,e_r 为均方误差平方根,表征了模型预测的准确性.

综合比较表1中数据可以看出,相比PSNR,模型预测的单调性提高7.42%,模型预测的均方误差平方根 e_r 提高36.06%,本文质量评价模型能更有效地描述图像质量.

表1 模型性能测试统计数据

项目	r_p		O_{or}		e_r	
	偏差1	偏差2	偏差1	偏差2	偏差1	偏差2
PSNR	0.8979		0		0.3053	
SSIM	0.9601		0.3947		0.4860	
本文模型	0.9602	0.9645	0	0	0.1957	0.1952
相比PSNR/%	6.94	7.42			35.90	36.06



a 训练数据 b 测试数据

图6 基于训练/测试数据的新模型性能关联图

4 结束语

本文将PSNR和SSIM作为描述图像质量评价的2个参数,联合应用神经网络与支持向量机建立新的质量评价模型. 该模型性能测试中"野点"的数目相对减少,模型性能得以提高. 实验结果证明该模型输出与主观评价值关联性强,能有效地评价图像质量.

参考文献(References)

[1] Daly S. The visible difference predictor: an algorithm for the assessment of image fidelity, digital images and human vision [M]. Massachusetts, U S A: The MIT Press, 1993:179-206

[2] Heeger D J, Teo T C. A model of perceptual image fidelity [C]// Proceeding of 1995 Internation Conference of Image Processing. Washington:[s. n.], 343-345

[3] Watson A B, Solomon J A. Model of visual contrast gain control and pattern masking [J]. Journal of Optical Society of America, 1997,14(9): 2379-2391

[4] Vanden C J, Branden Lambrecht, Costantini D M, et al, Quality assessment of motion rendition in video coding [J]. IEEE Trans Circuits and Systems for Video Tech, 1999,9(5): 766-782

[5] Zhou Wang, Liang Lu, Alan C Bovik. Video quality assessment using structural distortion measurement [C]// Proceeding of 2002 Internation Conference of Image Processing. Rochester, New York:[s. n.], III-65-68

[6] 佟雨兵,张其善. 视频质量评价方法综述[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2006,18(5): 735-741
Tong Yubing, Zhang Qishan. Video quality assessment methods overview[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics,2006,18(5):735-741(in Chinese)

[7] RRNR-TV group test plan. Draft version 1.7[EB/OL]. 2004 [2005-01-10]. http://www.vqeg.org

[8] Wang Zhou, Alan C Bovik, Eero P. Simoncelli. handbook of image and video processing[M]. 2 nd ed, New York:Academic Press, 2005

[9] Vladimir N Vapnik. An overview of statistical learning theory [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1999,10(5): 988-999

[10] JPEG-release1 _ database [DB/OL]. 2005. http://live. ece. utexas. edu/index. htm

(责任编辑:娄 嘉)