

文章编号:1001-9081(2007)02-0503-04

基于 PSNR 与 SSIM 联合的图像质量评价模型

祁云平¹, 马慧芳², 佟雨兵³, 张其善³

(1. 西北师范大学 物理与电子信息工程学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 西北师范大学 数学与信息科学学院, 甘肃 兰州 730070;

3. 北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083)

(qiyunping@sina.com)

摘要:提出将峰值信噪比(PSNR)和结构相似度(SSIM)联合起来建立图像质量评价模型,先利用聚类分析法根据 PSNR 值和 SSIM 输出值对样本图像进行规整聚类,聚类结果用来对支持向量机进行小样本训练得到分类器,然后对不同类别的图像运用不同的质量评价规则,评价规则由二元线性回归法确定;最后,任一图像的分类采用支持向量机分类器实现。实验结果表明该模型的输出能更有效地反映图像的主观质量。

关键词:聚类分析;小样本数据;质量评价;线性回归;支持向量机

中图分类号: TP918.8 **文献标识码:** A

Image quality assessing model based on PSNR and SSIM

QI Yun-ping¹, MA Hui-fang², TONG Yu-bing³, ZHANG Qi-shan³

(1. College of Physics and Electronics Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou Gansu 730070, China;

2. College of Mathematics and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou Gansu 730070, China;

3. School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: Peak Signal Noise Ratio (PSNR) and Structure Similarity (SSIM) were combined to set up the image quality assessing model. Cluster analysis was used to make the samples data to be clustered into different kinds. The result as small data sets was used to train Support Vector Machines Classifier which was used to class any image into different kinds according to PSNR and SSIM. The quality of the image with different kinds was assessed with different strategies. The results of the test show the model output can reflect the image subjective quality effectively.

Key words: cluster analysis; small data sets; quality assessing linear regression; Support Vector Machines (SVM)

0 引言

目前绝大部分图像压缩算法都采用有损压缩方法去除视觉冗余信息,压缩后牺牲了信源的部分信息。经过图像压缩算法及压缩设备后的图像的质量直接反应了该算法和设备的性能,因此,图像质量评价成为一个值得关注的问题。同时,图像质量评价方法也可以应用于增强图像质量、提高图像编解码算法的容错性等方面。目前,国外已有专门机构和企业如 VQEG (Video Quality Evaluation Group)^[1]、IBM^[2]、韩国 SK 电信集团^[3] 等就图像与视频质量评价问题展开了相关的研究;国内,天津大学、北京大学等科研院校已经从事该领域研究并取得了部分成果^[3,4]。但总体来讲,目前图像与视频质量评价方法并不成熟,还有多项未知问题等待研究。

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。目前研究以后者为主,研究目标是使得质量评价模型准确地反应人眼视觉感知的主观质量。除峰值信噪比(Pear Signal to Noise Ratio, PSNR)和结构相似度(Structure Similarity, SSIM)方法外,多数

图像质量评价基于人眼视觉系统(HVS)的生理特征来建模型,如 VDP-模型^[5]、矩阵模型^[6]、DCT 矩阵模型^[7]、小波域模型 WVDP^[8] 等。但 HVS 是一个高度复杂、高度非线性的系统,且当前对 HVS 的认知仍然有限,只能依据一定的假设前提进行,如基于 HVS 特征的方法一般都认为原始图像质量是完美的且 Weber 定律和 PSF 模型始终成立;都假定 HVS 的多通道响应可以通过线性离散集合来模拟;都假定通道分解是无损的或无损于视觉的,通道变换后信号仍然保持了质量评价的绝大部分信息。

峰值信噪比基于图像像素灰度值进行统计和平均计算,是常用的衡量信号失真的指标。PSNR 对于多数图像质量评价是有效的,尽管对部分图像或视频质量评价时可能与主观感知的质量产生较大的偏差;VQEG 已经评价了 10 种质量评价模型,最终没有确定出一种模型作为标准模型,其主要原因是,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。因此,作者认为 PSNR 仍可以作为图像质量评价一个有意义的参考指标,而目前多数图像质量评价方法完全弃用了 PSNR。文献[9]、[10]提出并发展了一种基于结构失真的视频质量客观评价方法——SSIM,该方法对静态图像质量

收稿日期:2006-08-08;修订日期:2006-10-23

作者简介: 祁云平(1981-),男,甘肃临洮人,助教,硕士,主要研究方向:信号处理、图形图像处理、数字视频压缩; 马慧芳(1981-),女,甘肃兰州人,助教,硕士,主要研究方向:信息检索、数据挖掘; 佟雨兵(1977-),男,山东济宁人,讲师,博士,主要研究方向:信息处理与传输、图像压缩; 张其善(1936-),男,浙江浦江人,教授,博士生导师,主要研究方向:遥控遥测、智能信息处理。

评价取得了较好的效果。本文将 PSNR 和 SSIM 联合起来建立图像质量评价模型,按照 PSNR 值和 SSIM 输出值对数据库中的样本数据进行聚类分析,即自动实现样本数据的集合划分,不同类别的图像确定不同的质量评价规则;聚类的结果作为支持向量机分类器的训练数据,而后由支持向量机(Support Vector Machines, SVM)分类器实现对任一待评价图像的分类并给出对应的客观评价。目前,尚未有二者联合应用的文献记载。文末采用美国德州大学 UTEXAS 媒体实验室的数据库进行了实验,实验结果证明,相比 PSNR 或 SSIM 衡量图像质量,该模型的输出能更有效的反映图像的主观质量。

1 PSNR 与 SSIM 图像质量评价分析

1.1 PSNR

PSNR 的定义如下:

$$PSNR = 10\lg\left(\frac{\alpha_{max}^2}{MSE}\right)$$

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [a(i,j) - \hat{a}(i,j)]^2 \quad (1)$$

式中, MSE (Mean Square Error) 为均方误差, $a(i,j)$ 和 $\hat{a}(i,j)$ 分别为原始图像与重建图像中对应的像素值, MN 为 $M \times N$ 图像中的总像素数。PSNR 为峰值信噪比, 其中 $\alpha_{max} = 2^K - 1$, K 是表示一个像素点用的 2 进制位数, 常取 $K = 8$, 所以 $\alpha_{max} = 255$ 。PSNR 和 MSE 都基于像素灰度值进行统计和平均计算, 完全忽视了图像内容对人眼的影响, 因而不能完整反映出图像的质量。图 1 中, 信号 1 和信号 2 两个失真信号分别与原始信号进行均方差计算的结果是相同的; 但在人眼看来, 信号 1 要比信号 2 更接近原始信号。

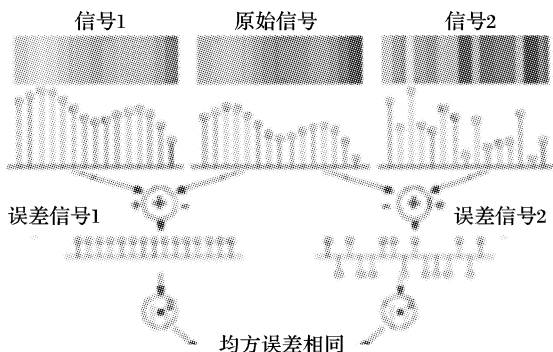


图 1 不同失真信号的均方差计算

1.2 基于结构失真的图像质量评价——SSIM

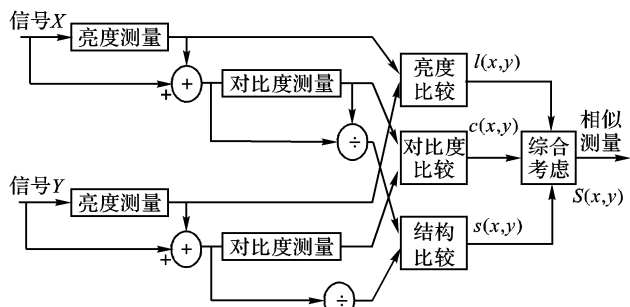


图 2 SSIM 原理

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。因此, 如果结构相似则可认为前后图像质量变化不大, 即质量损失不大。结构相

似法提供了与感知图像失真非常接近的一种客观评价方法。SSIM 方法实质上是观察图像信息的一种具体方式。假设源图像用图像空间中的向量来表示, 则图像的任何失真可表示为在源图像向量上添加失真向量, 当这些失真图像向量的长度和源图像向量的长度相等时, 可将它们定义在图像空间中以 MSE 的值为半径的球面上。SSIM 法基本框图如图 2 所示。

其中, 信号 X, Y 分别是原始图像信号和失真图像信号。结构相似法的核心函数定义为:

$$S(x,y) = F(l(x,y), c(x,y), s(x,y)) \quad (2)$$

$S(x,y)$ 为描述失真信号与原始信号之间相似性的测量函数, 用来度量失真度; $l(x,y)$ 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, $f(\cdot)$ 是整合函数, 三个函数相对独立^[11]。三个比较函数定义如下:

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, C_1 = (K_1L)^2 \quad (3)$$

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, C_2 = (K_2L)^2 \quad (4)$$

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

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (5)$$

其中, L 为像素值的动态变化, $K_1, K_2 \ll 1, \mu_x, \mu_y$, 是亮度均值作为亮度估计, σ_x, σ_y 是标准方差作为对比度估计, 结合式(3)、式(4)和式(5)定义信号 X 和 Y 之间的 SSIM 指标为:

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma \quad (6)$$

其中, $\alpha, \beta, \gamma > 0$, 这三个参数对亮度、对比度和结构信息进行权值调整。

根据文献[11]的实验结果, SSIM 能取得优于 PSNR 的质量评价结果。但 SSIM 并不能完全解决 PSNR 的问题, 即对于 SSIM 方法, 同样有可能存在两个信号, 二者相对同一个原始信号具有相同的结构相似值, 但这两个信号的主观质量却不一定相同。另外, PSNR 或 SSIM 与主观评价的关联图中都在着一些“野点”, 这些点对应的 PSNR 或 SSIM 与主观评价相差较大。如能较好地校正这些“野点”, 调整其对应地客观评价, 则能提高质量评价模型输出与主观评价的关联。因此, 论文结合 PSNR 和 SSIM, 通过聚类方法使得图像样本集中并归为不同的类, 对不同类采用不同评价策略以消除野点对质量评价模型的影响。

2 采用聚类分析与 SVM 分类法建模

本文将 PSNR 与 SSIM 联合起来建立图像质量评价模型, 操作流程如图 3 所示。

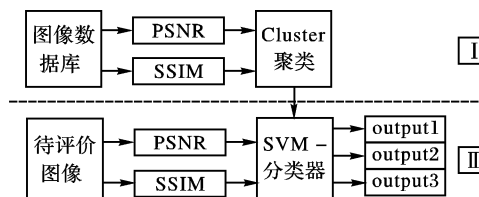


图 3 采用聚类分析与 SVM 分类的建模操作流程

整个流程可以分为两个阶段:

第一阶段: 利用图像数据库中的部分图像做样本, 计算其 PSNR 与 SSIM 输出值, 根据这两个指标对样本进行聚类分析, 聚类结果送入第二阶段, 作为 SVM 分类器的学习样本。

第二阶段:根据聚类结果确定出 SVM 分类器,对每一幅待评价图像给出其类别,不同类图像采用不同的质量评价策略,分类策略基于二元线性回归分析确定。

2.1 样本数据的聚类分析

聚类分析适用于事先没有分类而将样本或指标进行聚集归类的问题。本文采用系统聚类分析法:先将一定数量的样本各自看成一类,然后根据样本的亲疏程度,将亲疏程度最高的两类进行合并;然后考虑合并后的类与其他类之间的亲疏程度,再进行合并,重复直到将所有样本合并为一类。

样本数据间的亲疏程度采用距离来衡量,文中实验部分分别采用了欧氏距离和 Minkowski 距离进行距离计算,实现类内距离最小。聚类时分别采用重心法实现,重心法聚类的重心定义为某类样本的均值。即假设类 G_p 和 G_q 合并成 G_r 后,它们的样本数目分别是 n_p, n_q 和 $n_r = n_p + n_q$,则 G_r 与其他类 G_i 之间的距离为:

$$D_{ir}^2 = \frac{n_p}{n_r} D_{ip}^2 + \frac{n_q}{n_r} D_{iq}^2 - \frac{n_p}{n_r} \frac{n_q}{n_r} D_{pq}^2 \quad (7)$$

D_{ip}, D_{iq}, D_{pq} 分别为 G_i, G_p 和 G_q 之间的距离。

2.2 SVM 分类器

为了解决模式识别中的两类线性不可分问题, Vapnik 引入了核函数理论:将低维的输入空间数据通过非线性映射函数映射到高维特征空间,把输入空间中线性不可分问题转化为特征空间中的线性可分问题,这种非线性映射函数的内积称为核函数。基于核函数和训练样本集可以完全刻画出支持向量机。支持向量机可用于模式识别、密度函数估计、回归估计(函数逼近)等方面,已经成为当前新的研究热点^[12,13]。

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空间,在这个空间中求广义最优分类面 $f(x;w) = (\omega \cdot x) + b$,使得两类样本的间隔最大。这等价于最小化 $\frac{1}{2} \|w\|^2$,通过引入松弛变量及对偶原理,可以得到回归函数:

$$\begin{aligned} f(x; a) &= (\omega \cdot x) + b \\ &= \sum_{i=1}^N (a_i^* - a_i) (x_i \cdot x) + b \\ &= \sum_{i=1}^N (a_i^* - a_i) K(x \cdot x_i) + b \end{aligned} \quad (8)$$

其中, $K(\cdot, \cdot) = (x_i \cdot x)$, 称为核函数; b 是一个常数而且对于一般的容许的核函数(带有纯数值项)该项可以省略;系数 a, a^* 是最大化下列函数的参数:

$$\begin{aligned} \max W(\alpha; \alpha^*) &= \sum_{i=1}^N y_i (a_i - a_i^*) - \varepsilon \sum_{i=1}^N (a_i + a_i^*) - \\ &\quad \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (a_i - a_i^*) (a_j - a_j^*) K(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N a_i^* = \sum_{i=1}^N a_i \\ s. t: & 0 \leq a_i^* \leq 1 \\ & 0 \leq a_i \leq 1 \\ & a_i \cdot a_i^* = 0 \end{cases}$$

这是一个二次规划问题(Quadratic Problem, QP),具有最优解^[14]。式(9)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,支持向量即位于分类边界或分类面上的点。

SVM 分类是一种基于监督学习的方法,具有强大的分类

能力并能保证类间的距离最大。本文将聚类分析的结果供给 SVM 分类器,即将样本按照 PSNR 和 SSIM 指标聚类,按序重排后,作为 SVM 分类器的训练数据,通过训练获得 SVM 分类器模型。基于上述的聚类分析和 SVM 分类器的属性,可以使得类内距离最小,类间距离最大。

2.3 基于线性回归分析的不同分类策略的确定

回归分析用于确定变量之间的密切关系。线性回归假设因变量与自变量之间为线性关系,用一定的线性回归模型来拟合因变量和自变量的数据,并通过确定模型参数来得到回归方程。本文将 PSNR 和 SSIM 作为样本的两个指标,将样本聚为 3 类集合,通过二元线性回归分析对上文聚类分析后的各类样本集确定出不同的线性回归方程:

$$y_{output_i} = b_{0_i} + b_1 x_{PSNR_i} + b_2 x_{SSIM_i}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (11)$$

其中, i 为分类数目,系数与常数利用最小二乘法确定。

3 仿真实验及结果分析

本文利用美国 UTEXAS 大学的 Jpeg_Database 数据库进行相关的实验^[17]。采用聚类分析与 SVM 分类器对样本数据进行处理,对不同类采用不同的质量评价策略建立质量评价模型。最后,将模型输出结果与 PSNR 和 SSIM 方法进行了比较。

1) 采用重心聚类法依据 PSNR 和 SSIM 将样本数据聚类后的效果如图 4 所示。

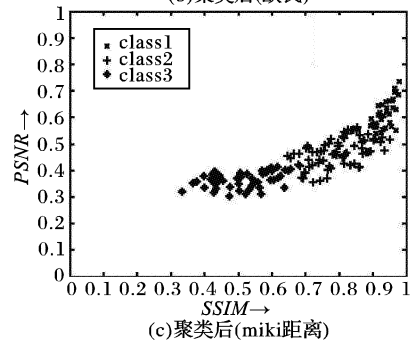
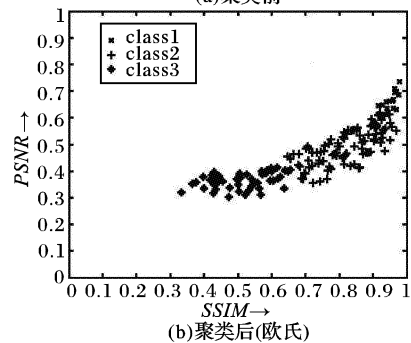
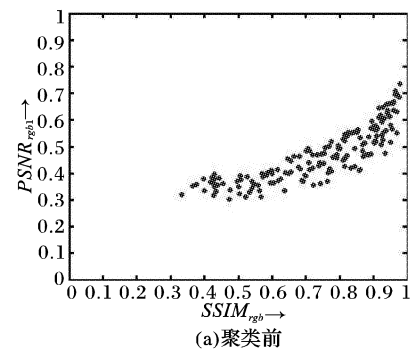


图 4 样本聚类效果

图中,横轴坐标为 SSIM,即结构相似法得到的评价;纵

轴坐标为 PSNR 值, SSIM 和 PSNR 是针对同一幅图像的两种不同的客观质量评价价值。分别按照标准欧氏距离和 Minkowski 距离进行计算, 可以看到将原始样本数据聚成 3 类, 相比聚类前, 聚类后的数据更能体现 PSNR-SSIM 平面区域的相关性。

2) 将聚类结果按序列重排作为 SVM 分类器的训练数据, 基于 SVM 分类器的分类效果如图 5 所示。

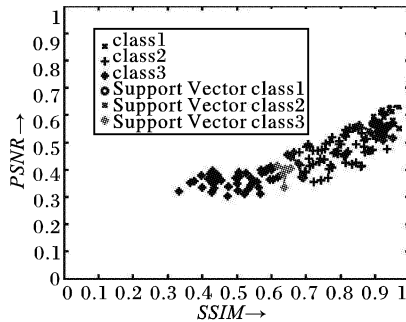


图 5 SVM 分类效果

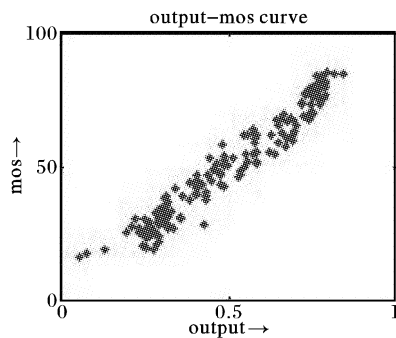
3) 基于二元线性回归分析得到的分类评价策略为:

$$\text{Class1: output1} = 0.3248 \text{class1_psnr} + 0.2474 \text{class1_ssim} + 0.3530$$

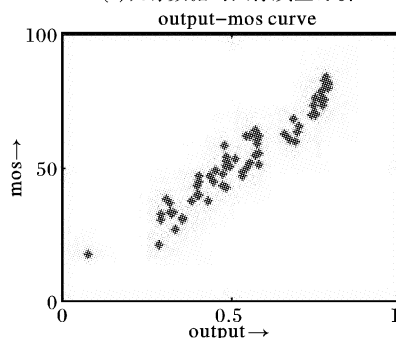
$$\text{Class2: output2} = 0.3173 \text{class2_psnr} + 1.1916 \text{class2_ssim} - 0.5739$$

$$\text{Class3: output3} = -0.0141 \text{class3_psnr} + 0.4030 \text{class3_ssim} + 0.0798 \quad (12)$$

4) 训练数据得到的模型输出值与主观评价值的关联图如图 6(a) 所示, 选用部分数据作为测试数据得到模型输出值与主观评价值的关联图如图 6(b) 所示。与 PSNR 和 SSIM 主观评价值的关联图相比较, 我们建立的模型输出值和主观评价值有更好的线性相关性。



(a) 训练数据的图像质量评价



(b) 测试数据的图像质量评价

图 6 实验结果

另外, 根据 VQEG 评测质量评价模型的指标, 分别计算模型指标 rp , $rmse$ 和 $outlier$ 如表 1 所示。表 1 列出的统计数据

用于表示图像质量评价模型的性能。 $Rmse$ 是平方根均值误差, 它描述了模型的预测准确度。 Rp 描述了模型的预测有效性。还有 $Outlier$ 比率给出了模型的预测一致性的评价。

表 1 模型评价指标

	rp	$outlier$	$rmse$
PSNR	0.8979	0	0.3053
SSIM	0.9601	0.3947	0.4860
MY_OWN	0.9645	0	0.1952

由表中数据可以看出, 建立的模型在图像质量评价方面的有效性, 虽然在预测一致性上新模型与 PSNR 一样, 但是新模型相应地在预测准确性上比 PSNR 指标高 56.40% (也就是说新模型的平方根均值误差比 PSNR 低 56.40%), 并且新模型的预测有效性比 PSNR 高 7.42%。

4 结语

图像质量评价方法研究是图像处理领域的一项基础性的开放课题。本文提出基于 PSNR 和 SSIM 建立质量评价模型, 建模过程采用了聚类分析、线性回归及支持向量机分类等技术, 并利用相关的数据库数据对模型进行了检测, 实验结果证明该模型能有效的评价图像质量, 模型输出与主观评价值关联性很强。

参考文献:

- [1] Final Report From the Video Quality Experts Group on the Validation of Objective Models of Video Quality Assessment[J/OL]. <http://www.vqeg.org>, 2005-01.
- [2] WANG Z, LU L, BOVIK AC. Video Quality Assessment Using Structural Distortion Measurement[J]. IEEE ICIP 2002, III-65-68.
- [3] 李彦丽, 金东瀚, 焦秉立. 几种典型的感知视频质量评价模型[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(13): 66-68.
- [4] 李桂琴, 王楠楠, 张强. MPEG-2 系统运动图像质量评价技术的研究[J]. 天津大学学报, 2001, 34(5): 573-576.
- [5] DALY S. The visible difference predictor: An algorithm for the assessment of image fidelity[J]. Proc. SPIE, 1992, 1616: 2-15.
- [6] HEEGER DJ, TEO TC. A model of perceptual image fidelity[A]. in Proc. IEEE Int. Conf. Image Proc. [C]. 1995. 343-345.
- [7] WATSON AB, SOLOMON JA. Model of visual contrast gain control and pattern masking[J]. Journal of Optical Society of America, 1997, 14(9): 2379-2391.
- [8] VAN DEN BRANDEN CJ, COSTANTINI DM, SICURANZA GL, et al. Quality assessment of motion rendition in video coding[J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech., 1999, 9: 766-782.
- [9] WANG Z, BOVIK AC, SIMONCELLI EP. Structural approaches to image quality assessment[A]. Handbook of Image and Video Processing (Al Bovik, eds.) [C], second edition, Academic Press, May 2005.
- [10] 佟雨兵, 张其善, 胡薇薇, 等. 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.
- [11] WANG Z, BOVIK AC, SIMONCELLI EP. Structural Approached to Image Quality Assessment[M]. In Handbook of Image and Video Processing, 2nd edition, Al Bovik, ed., Academic Press, 2005. 1-33.
- [12] 佟雨兵, 常青, 张其善. SVM 在数字水印中的几种应用方式[J]. 计算机应用研究, 2005, 22(3): 147-150.
- [13] VAPNIK VN. An overview of statistical learning theory[J]. Neural Networks, IEEE Transactions on, 1999, 10(5): 988-999.
- [14] JPEG-release1_database[DB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/index.htm>, 2005-04-10.