

基于视频自然统计特性的无参考移动终端视频质量评价

施文娟^{①②} 孙彦景^{*①} 左海维^① 曹 起^①

^①(中国矿业大学信息与控制工程学院 徐州 221008)

^②(盐城师范学院新能源与电子工程学院 盐城 224051)

摘 要: 针对无线网络中压缩编码及无线丢包等因素对移动终端视频的降质影响, 在分析视频相邻帧差信号空-时感知统计特性的基础上, 该文提出一种基于视频自然统计特性的无参考移动终端视频质量评价(NMVQA)算法。进行视频帧差空-时自然统计规律分析, 确定移动终端视频失真类型对视频相邻帧差系数统计特性的影响; 计算水平、垂直、主对角线和副对角线方向的帧差相邻系数乘积分布参数的时域统计特性; 以多尺度帧差相邻系数的时域统计特性相关程度来衡量移动终端视频失真程度。在 LIVE 移动视频数据库上的实验结果表明, 该文所提算法的结果与主观评价具有较好的一致性, 能够准确反映人类对视频失真程度的视觉感知效果, 可为实时在线调节信源码率和无线信道参数提供参考依据。

关键词: 视频质量评价; 无参考; 移动终端视频; 自然统计特性; 相邻帧差

中图分类号: TN919.82

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2018)01-0143-08

DOI: 10.11999/JEIT170165

No-reference Mobile Video Quality Assessment Based on Video Natural Statistics

SHI Wenjuan^{①②} SUN Yanjing^① ZUO Haiwei^① CAO Qi^①

^①(School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

^②(School of New Energy and Electromechanical Engineering, Yancheng Teachers University, Yancheng 224051, China)

Abstract: Considering the influence of compression and wireless channel packet-loss on mobile video quality in wireless network, analyzing the space-time perceptual statistics of the differences between video adjacent frames, a No-reference Mobile Video Quality Assessment (NMVQA) algorithm is proposed based on video natural statistics. First, the influences of various video distortion type on the statistical characteristics of difference coefficients between video adjacent frames are analyzed in terms of the natural statistical regularities of video frame difference. Second, the temporal change of the distribution parameters with respect to the products of adjacent frame differences computed along horizontal, vertical and diagonal spatial orientations are calculated. Finally, the distortion degree of mobile video is measured by the correlation between the multi-scale temporal changes of statistical characteristics of difference coefficients between video adjacent frames. Experimental results in the LIVE mobile video database show that NMVQA is well consistent with subjective assessment results, and can reflect human subjective feeling well. NMVQA can evaluate the performance of real-time online adjustment of the source rate and wireless channel parameters.

Key words: Video quality assessment; No-reference; Mobile video; Natural statistics; Adjacent frame difference

1 引言

随着移动互联网和无线网络的发展, 移动视频

流量飞速增长, 移动视频业务成为最热门的流媒体应用之一。在未来 5G 通信环境中, 无线信道的动态变化极易造成数据丢失从而影响移动视频业务质量。因此, 需要实时准确地对移动终端视频质量进行监控, 获得用户视频体验质量^[1,2]。同时, 移动终端视频降质程度业已成为估计移动视频失真程度, 衡量视频编解码器和无线网络性能的重要指标^[3]。

视频质量评价方法可以分为主观质量评价方法和客观质量评价方法。主观质量评价方法通过一组观察者依据事先规定的评价规则对失真视频的视觉效果进行评分, 作为视频的主观质量评价价值。虽然主观质量评价方法最合理, 但是评价过程繁琐、耗时, 不适合实时场合。客观质量评价方法通过提取

收稿日期: 2017-02-27; 改回日期: 2017-10-23; 网络出版: 2017-11-08

*通信作者: 孙彦景 yanjingsun_cn@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(51504214, 61771417), 江苏省自然科学基金(BK20150204), 国家重点研发计划(2016YFC0801403), 江苏省重点研发计划项目(BE2015040), 中国博士后基金(2015M581884)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (51504214, 61771417), The Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20150204), The National Key Research and Development Program (2016YFC0801403), The Fundamental Research and Development Foundation of Jiangsu Province (BE2015040), China Postdoctoral Science Foundation (2015M581884)

视频失真相关信息评估视频失真程度,可分为:全参考客观质量评价(Full-reference)、部分参考客观质量评价(Reduce-reference)和无参考客观质量评价(No-reference)。

视频自然统计特性作为视频质量客观评价方法,是对自然视频相关属性的统计分析,可以用来衡量视频质量退化时视频自然属性的损坏。文献[4]提出一种基于自然统计特性的部分参考视频质量评价方法 STRRED,该方法利用视频帧差的多尺度小波变换系数的统计特征预测视频质量。文献[5]针对 MPEG-2 和 H.264 视频提出一种 DCT 域中基于空-时自然场景统计模型的无参考视频质量评价方法。文献[6]基于视频帧差时域感知相关统计模型分析失真视频特征变化情况,提出了一种基于视频空-时差异统计特性的无参考视频质量评价方法 VIIDEO。

由于受到压缩编码算法、无线信道噪声、无线信道容量、传输速率、时变信道条件、终端用户数量等因素的影响,移动终端视频存在许多类型的失真^[7],已有文献分别从无线网络性能、压缩编码、移动终端视频相关特性等评价指标进行了研究。文献[8]提出基于用户体验质量(Quality of Experience, QoE)的移动视频感知评价模型,该模型通过分析视频播放成功率、视频流畅度和平均缓冲时间等主要指标对移动视频质量进行评价。文献[9]研究了移动视频编码参数、无线网络参数和移动终端设备参数对移动视频用户体验的影响,提出了基于用户体验的移动视频质量评价方法。文献[10]通过主观实验研究了用户主观愉悦接收(pleasant acceptability)的移动视频质量最低阈值,以及移动终端设备、视频分辨率、视频量化参数、码率等因素与主观愉悦接收的移动视频质量阈值之间的映射关系,提出了基于用户主观愉悦接收的移动视频质量评价方法。文献[8-10]主要考虑了移动终端视频中压缩编码及无线网络性能等因素的影响,没有考虑人眼对移动视频自然特性损坏的主观感受;文献[6]研究表明,视频帧差空-时感知相关统计模型能够有效分析视频帧差信号所隐含的自然规律特性,可用于衡量视频的失真程度,有必要从视频相邻帧间自然特性的角度对移动终端视频降质程度进行研究。

针对无线网络中压缩编码及无线丢包等因素对移动终端视频的降质影响,本文基于视频帧差空-时感知相关统计模型,在分析视频相邻帧差信号空-时感知统计特性的基础上,提出一种基于视频自然统计特性的无参考移动终端视频质量评价方法 NMVQA(No-reference Mobile Video Quality Assessment)。在 LIVE 移动视频数据库^[3]上进行了

仿真实验,验证了本文所提算法的有效性,并且预测值与主观评测值具有较好的一致性,可作为移动视频实时通信中终端视频质量检测方法,并为调节信源码率和无线信道参数提供可靠依据。

2 视频相邻帧差空-时感知相关统计特性分析

令 F^{t+1} 为第 $t+1$ 个视频帧, F^t 为第 t 个视频帧,移动终端视频相邻帧差如式(1):

$$\Delta F^t = F^{t+1} - F^t, \quad \forall t \in \{1, 2, \dots, (T-1)\} \quad (1)$$

其中, T 为视频总帧数。

由文献[11,12]可知,人类初级视皮层的多数神经元对具有特定频谱位置、频率和方向的视觉激励敏感,采用局部化、带通函数能够描述上述神经元敏感区域。文献[6]研究也表明经过空-时带通滤波器后的帧差信号能够体现由结构变化(如运动边缘)等因素引起的时域统计规律的变化。因此,使用空-时带通滤波器和局部非线性处理可以完成类似初级视觉皮层神经元空-时多通道处理视觉信息的方式。

为了进一步分析相邻帧差系数的分布规律,使用空-时带通滤波器和局部非线性处理方法模拟神经元预处理机制,对视频帧差系数进行归一化处理,如式(2):

$$\Delta^{\wedge} F^t(i, j) = \frac{\Delta F^t(i, j) - \mu^t(i, j)}{\sigma^t(i, j) + C} \quad (2)$$

其中 i, j 为空域变量, $i \in \{1, 2, \dots, M\}$, $j \in \{1, 2, \dots, N\}$, M 和 N 分别为视频每帧图像的行数和列数, t 为连续帧采样时间变量, $t \in \{1, 2, \dots, (T-1)\}$ 。 $\mu^t(i, j)$ 和 $\sigma^t(i, j)$ 分别为局部时差亮度均值和对比度,如式(3)、式(4):

$$\mu^t(i, j) = \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L \omega_{k,l} \Delta F^t(i+k, j+l) \quad (3)$$

$$\sigma^t(i, j) = \sqrt{\sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L \omega_{k,l} [\Delta F^t(i+k, j+l) - \mu^t(i, j)]^2} \quad (4)$$

其中, $\omega_{k,l} | k = -K, \dots, K, l = -L, \dots, L$ 为中心对称的高斯加权函数, $K = L = 3$, $C = 1$ 作为归一化半饱和和常数^[6],防止出现分母为零的现象。

图1给出了 LIVE 移动视频数据库中“dv”源视频及其具有不同失真类型的移动终端视频的归一化帧差系数的分布情况。由图1可知,源视频的归一化帧差系数呈高斯正态分布规律^[6],具有不同失真类型的移动终端视频的归一化帧差系数呈非高斯正态分布规律。为了辨别不同失真类型对移动终端视频质量造成的影响,有必要分析能够反映移动终端视频失真程度的相邻帧差系数的分布特征。

文献[12]研究表明,具有识别物体功能的中-腹

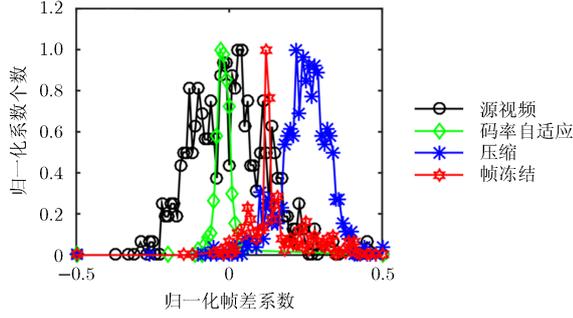


图1 LIVE移动视频数据库中“dv”视频的归一化帧差系数分布图

侧视觉通路中神经元对图像某一像素及其相邻像素的响应的乘积可衡量空域响应的自相关性。因此，为了分析视频相邻帧差系数分布规律的时域变化，沿垂直、水平、主对角线和副对角线方向分别对视频相邻帧差系数进行采样，相邻帧差系数与其 4 个方向相邻系数相乘来模拟神经元对激励信号方向选择的响应特性，乘积结果遵循零模式非对称广义高斯分布规律 AGGD(A zero mode asymmetric Generalized Gaussian Distribution)^[13]，如式(5)：

$$f(x; \alpha, \beta_l, \beta_r) = \begin{cases} \frac{\alpha}{(\beta_l + \beta_r) \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)} \exp\left(-\left(\frac{-x}{\beta_r}\right)^\alpha\right), & x < 0 \\ \frac{\alpha}{(\beta_l + \beta_r) \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)} \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta_l}\right)^\alpha\right), & x \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta_l = \sigma_l \sqrt{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) / \Gamma\left(\frac{3}{\alpha}\right)} \quad (6)$$

$$\beta_r = \sigma_r \sqrt{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) / \Gamma\left(\frac{3}{\alpha}\right)} \quad (7)$$

其中， α 为分布形状参数， β_l, β_r 为左方差参数和右方差参数，分别对应帧差相邻系数乘积的左右分布情况。 $\Gamma(\cdot)$ 为伽马函数，定义为

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt, \quad \alpha > 0 \quad (8)$$

定义移动终端视频帧差相邻系数乘积的分布参数时域变化参数 ($\Delta\alpha, \Delta\beta_l, \Delta\beta_r$) 如式(9)~式(11)所示。

$$\Delta\alpha^t = \alpha^{t+1} - \alpha^t \quad (9)$$

$$\Delta\beta_l^t = \beta_l^{t+1} - \beta_l^t \quad (10)$$

$$\Delta\beta_r^t = \beta_r^{t+1} - \beta_r^t \quad (11)$$

其中， t 表明为第 t 个视频帧， α 为分布形状参数。

相对于源视频，移动终端视频帧差相邻系数乘积分布参数的时域变化参数分布发生了不同程度的翻转及平移现象，体现了不同失真类型的移动终端视频相对源视频在视频相邻帧差空-时自然统计特性上的不同程度的偏差，克服了失真类型对移动终端视频的影响，利用这种偏差特性可以计算移动终端视频质量的受损程度。

3 NMVQA 算法

根据视频帧差相邻系数乘积的分布参数时域变化规律，针对移动终端视频，本文提出一种无参考视频质量评价算法 NMVQA。为了计算移动终端视频相对于源视频相邻帧差系数统计特性的偏差程度，根据视频时域信息的变化情况与视频不同尺度的帧差系数具有强相关性的特性^[6]，NMVQA 算法通过不同尺度帧差系数时域统计特性的相关性作为衡量移动终端视频失真程度的指标。NMVQA 算法框图如图 2 所示。

NMVQA 算法具体步骤如下：

步骤 1 根据式(1)~式(5)计算移动终端视频的归一化帧差系数，并采用快速匹配方法^[14]利用分块

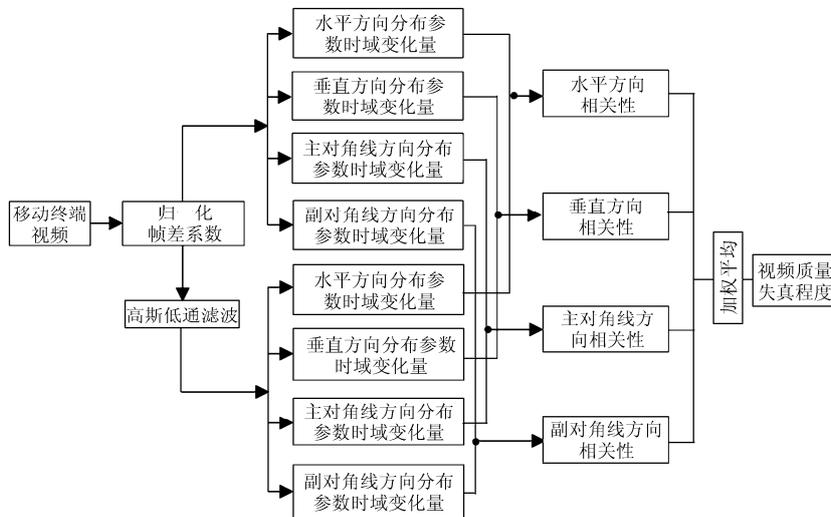


图 2 NMVQA 算法框图

的思想计算移动终端视频帧差系数的分布参数 $(\alpha, \beta_l, \beta_r)$ 及其时域变化参数 $(\Delta\alpha, \Delta\beta_l, \Delta\beta_r)$ 。计算分布参数及其时域变化参数的具体步骤如下: 本文将移动终端视频相邻帧差系数矩阵划分为 $R \times S$ 大小的块, 对其进行局部分析; 然后, 从每一个分块中分别提取水平、垂直、主对角线和副对角线方向的帧差系数, 并计算每一个分块中相邻帧差系数分别与其相邻4个方向帧差系数乘积的分布参数 $(\alpha, \beta_l, \beta_r)$, 组成12个参数向量。将这些向量定义为 ψ_k^t , $k \in \{1, 2, \dots, 12\}$, $t \in \{1, 2, \dots, (T-1)\}$ 。整个视频的参数向量定义为 $\Psi_{x,y}^t$, $t \in \{1, 2, \dots, (T-1)\}$, $(x, y) \in \{1, 2, \dots, P\} \times \{1, 2, \dots, S\}$ 。其相邻帧差分布参数向量的时域变化向量为

$$\Delta\Psi_{x,y}^t = \Psi_{x,y}^{t+1} - \Psi_{x,y}^t \quad (12)$$

步骤2 计算经过高低通滤波器后的粗尺度归一化帧差系数, 如式(13)所示, 其中高低通滤波器模板为 7×7 , 标准差为1.1667。

$$\Delta H^t(i, j) = \sum_{k=-K}^K \sum_{l=-L}^L \omega_{k,l} \Delta F^t(i+k, i+l) \quad (13)$$

其中, $\omega_{k,l}$ 为2维循环对称高斯权重函数。

同样采用快速匹配方法^[14]利用分块的思想根据 $\Delta H^t(i, j)$ 计算出参数向量 $\Phi_{x,y}^t$, 其相邻帧差分布参数向量的时域变化向量为

$$\Delta\Phi_{x,y}^t = \Phi_{x,y}^{t+1} - \Phi_{x,y}^t \quad (14)$$

视频两尺度帧差系数时域变化统计向量, 如式(15)和式(16)所示。

$$\mathbf{A}_{x,y}^t = \{\Delta\Psi_{x,y}^t\} \quad (15)$$

$$\mathbf{B}_{x,y}^t = \{\Delta\Phi_{x,y}^t\} \quad (16)$$

步骤3 计算式(15)和式(16)的相关性 $C[\mathbf{A}_{x,y}^t, \mathbf{B}_{x,y}^t]$ 。

$$C[\mathbf{A}_{x,y}^t, \mathbf{B}_{x,y}^t] = \sum_{y=1}^S \sum_{x=1}^R \left(\frac{\Delta\Psi_{x,y}^t - \mu(\mathbf{A}_{x,y}^t)}{\sigma(\mathbf{A}_{x,y}^t)} \right) \cdot \left(\frac{\Delta\Phi_{x,y}^t - \mu(\mathbf{B}_{x,y}^t)}{\sigma(\mathbf{B}_{x,y}^t)} \right) \quad (17)$$

其中,

$$\begin{aligned} \mu(\mathbf{A}_{x,y}^t) &= \frac{\sum_{x,y} \Delta\Psi_{x,y}^t}{R \times S \times T} \\ \sigma(\mathbf{A}_{x,y}^t) &= \frac{\sqrt{\sum_{x,y,T} [\Delta\Psi_{x,y}^t - \mu(\mathbf{A}_{x,y}^t)]^2}}{R \times S \times T} \\ \mu(\mathbf{B}_{x,y}^t) &= \frac{\sum_{x,y} \Delta\Phi_{x,y}^t}{R \times S \times T} \\ \sigma(\mathbf{B}_{x,y}^t) &= \frac{\sqrt{\sum_{x,y,T} [\Delta\Phi_{x,y}^t - \mu(\mathbf{B}_{x,y}^t)]^2}}{R \times S \times T} \end{aligned}$$

步骤4 计算经验相关系数向量 $\hat{\theta}^t$, 其有4个方向, 每个方向具有3个经验相关系数向量, 共12个向量组成, 如式(18)所示。

$$\hat{\theta}^t = [\mathbf{C}_h^t, \mathbf{C}_v^t, \mathbf{C}_d^t, \mathbf{C}_f^t] \quad (18)$$

其中, t 表明为第 t 个视频帧, $\forall t \in \{1, 2, \dots, (T-1)\}$, $\mathbf{C}_h = [\mathbf{C}_h^\alpha, \mathbf{C}_h^{\beta_l}, \mathbf{C}_h^{\beta_r}]$ 为水平方向的经验相关系数向量, $\mathbf{C}_v = [\mathbf{C}_v^\alpha, \mathbf{C}_v^{\beta_l}, \mathbf{C}_v^{\beta_r}]$ 为垂直方向的经验相关系数向量, $\mathbf{C}_d = [\mathbf{C}_d^\alpha, \mathbf{C}_d^{\beta_l}, \mathbf{C}_d^{\beta_r}]$ 为主对角线方向的经验相关系数向量, $\mathbf{C}_f = [\mathbf{C}_f^\alpha, \mathbf{C}_f^{\beta_l}, \mathbf{C}_f^{\beta_r}]$ 为副对角线方向的经验相关系数向量。

步骤5 将其所有相关系数向量进行加权平均, 以加权平均后的结果作为评价移动终端视频失真程度的指标 D , 如式(19)所示, $D \in [0, 1]$, 其值越接近于1, 说明移动终端视频失真程度越严重, 移动终端视频质量越差。

$$D = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^{12} \hat{\theta}_i^t \quad (19)$$

4 算法仿真分析

为了测试NMVQA算法的性能, 本文采用德克萨斯大学奥斯汀分校图像与视频工程实验室构建的LIVE移动视频数据库^[3]作为测试视频样本。该视频数据库包括10个无失真源视频和200个移动终端视频, 每个源视频对应20个具有不同失真类型和失真程度的视频, 均采用h.264/AVC视频编解码标准, YUV4:2:0格式, 分辨率 1280×720 。每个视频时长15s, 帧码率30帧/s。视频名称分别为bf, dv, fc, hc, la, po, rb, sd, ss, tk。该视频数据库模拟了无线网络环境下5种移动终端视频失真类型, 包括压缩、无线丢包、帧冻结、压缩码率自适应(rate-adaption)和压缩码率切换(rate-switch), 并给出了每个视频对应的差分平均主观值(Difference Mean Opinion Scores, DMOS)及其均值和方差。

4.1 算法性能指标

实验分别对具有相同视频内容的不同失真类型和失真程度的移动终端视频进行测试, 采用Pearson线性相关系数(PLCC)、Spearman等级相关系数(SROCC)、Kendell等级相关系数(KROCC)、均方根误差(RMSE)评价指标对NMVQA算法的性能进行客观评估^[15]。其中, PLCC用来反映客观评价模型预测精确性, 其值越接近于1, 算法精确性越高; SROCC和KROCC反映客观评价模型的预测单调性, 其值越接近于1, 算法的预测单调性越好; RMSE反映客观评价方法误差的无偏性, 其值越小, 客观评价模型评价离散程度越小, 与主观一致性越高。

4.2 算法性能比较

将本文算法与全参考视频质量评价方法 PSNR 和 SSIM^[6]、部分视频质量评价方法 STRRED^[4]、无参考视频质量评价方法 VIIDEO^[6]算法进行性能比较。PLCC, SROCC, KROCC, RMSE 评价指标的比较结果分别见表 1-表 4, 其中性能最好的一组值用黑体标出。需要说明的是, 由于帧冻结本地存储视频的帧数与源视频帧数不同, 全参考和部分参考视频质量评价方法无法进行计算其质量分数, 因此本文没有考虑帧冻结本地存储视频的情况, 帧冻结视频类型中仅考虑了帧冻结实时视频。

由表 1-表 4 对比分析结果可知, NMVQA 算法与主观评价模型有较好的一致性, 其 PLCC 相关系数的平均值仅略低于全参考视频质量评价方法 PSNR, 优于其他评价方法; 其等级相关系数 SROCC 和 KROCC 的平均值仅略低于全参考视频质量评价方法 SSIM, 优于其他评价方法; 其 RMSE 平均值仅略高于全参考视频质量评价方法 PSNR, 优于其他评价方法。但是全参考视频质量评价方法

PSNR 和 SSIM 方法依赖源视频, 其实际应用受到制约。本文提出的算法是一种无参考移动终端视频质量评价方法, 不依赖于源视频, 其应用更具广泛性。

针对 LIVE 移动视频数据库给出的 DMOS, 图 3 所示为 NMVQA 算法在该视频数据库上分别对具有相同视频内容的不同失真类型的移动终端视频失真程度评价结果的散布图及 95%置信区间的拟合曲线。如图 3(a)~图 3(j)所示, 由 NMVQA 计算出的具有相同视频内容的不同失真类型的移动终端视频的失真程度值几乎都在置信区间内。表 1-表 4 及图 3 表明, NMVQA 算法结果与主观评测结果具有较高的一致性, 同时证明了该算法的预测精确度较高、单调性较好, 但该算法对视频内容及物体运动速度具有一定的依赖性, 在物体运动速度较快的移动终端视频中性能优越, 例如, bf, dv, la, rb, sd, ss 视频, 但对物体运动速度缓慢的视频, 其预测性能稍差, 例如, fc, hc, po, tk 视频。

表 1 各质量评价方法的 PLCC 比较结果

视频名称	PSNR	SSIM	STRRED	VIIDEO	NMVQA
bf	0.93835	0.68350	0.431699	0.640352	0.893957
dv	0.90985	0.95425	0.884339	0.899077	0.838275
fc	0.71133	0.82197	0	0.882028	0.716393
hc	0.93398	0.74668	0.436246	0.396362	0.761119
la	0.94123	0.67594	0.400569	0.768273	0.945107
po	0.93245	0.75519	0.409846	0.543324	0.763895
rb	0.91228	0.61090	0.335330	0.730043	0.904673
sd	0.85681	0.80223	0.440252	0.760679	0.871447
ss	0.87483	0.63443	0.294113	0.763115	0.945070
tk	0.88258	0.81421	0.245179	0.466545	0.720524
平均值	0.88937	0.74993	0.387757	0.684980	0.836046

表 2 各质量评价方法的 SROCC 比较结果

视频名称	PSNR	SSIM	STRRED	VIIDEO	NMVQA
bf	0.91422	0.95588	0.955882	0.875000	0.889706
dv	0.85539	0.94363	0.943627	0.769608	0.735745
fc	0.48039	0.80637	0	0.754902	0.622549
hc	0.95098	0.89216	0.931373	0.419118	0.862745
la	0.83088	0.84559	0.845588	0.674020	0.906863
po	0.90196	0.87745	0.872549	0.769608	0.801471
rb	0.89216	0.87255	0.865196	0.875000	0.953431
sd	0.77866	0.69528	0.683017	0.602085	0.885347
ss	0.82843	0.83578	0.840686	0.870098	0.914216
tk	0.83824	0.82843	0.828431	0.688725	0.784314
平均值	0.82713	0.85531	0.776635	0.729816	0.835639

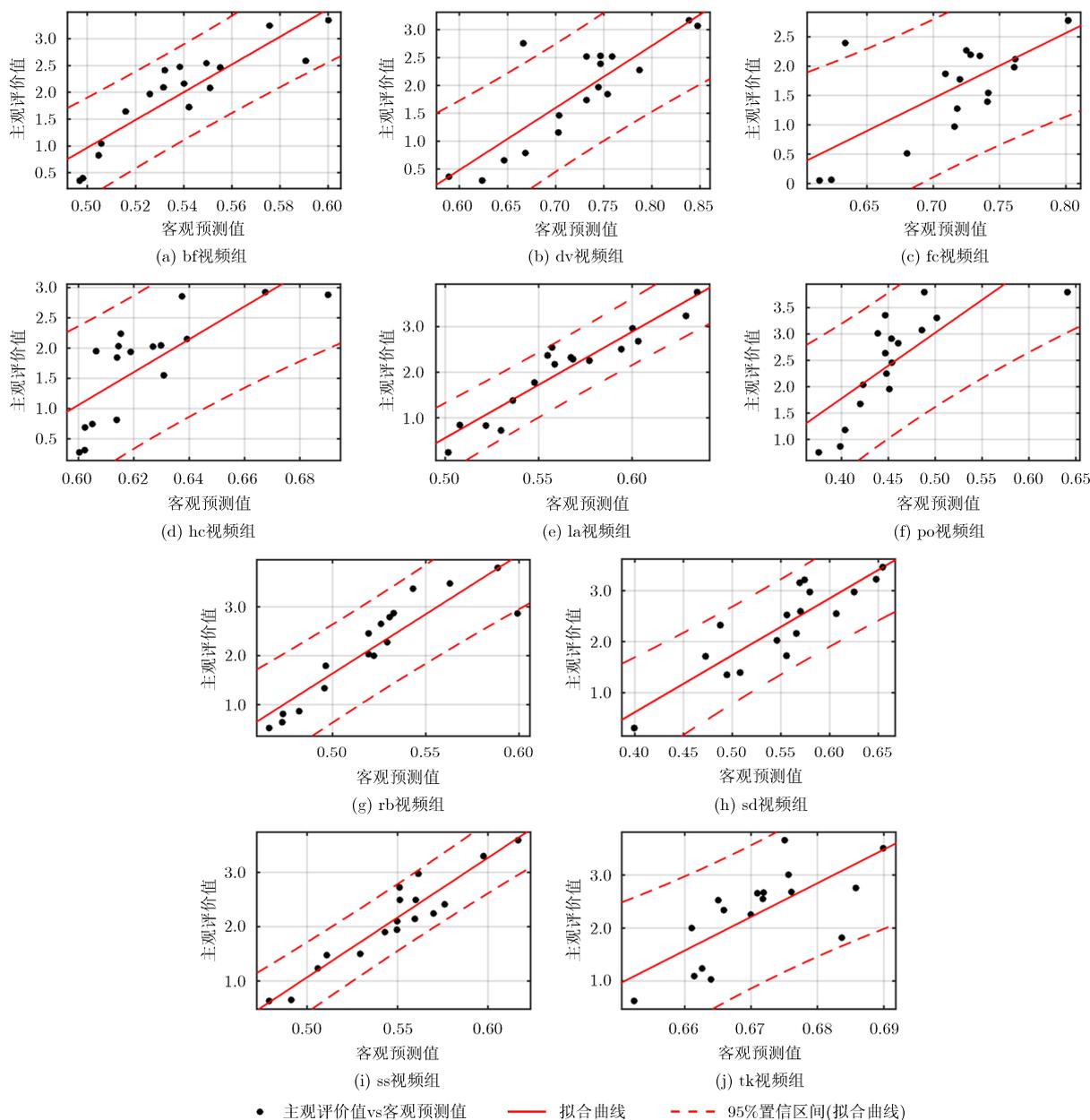


图3 移动端视频的失真程度客观评价价值与主观评测值 DMOS 的拟合曲线

表3 各质量评价方法的 KROCC 比较结果

视频名称	PSNR	SSIM	STRRED	VIIDEO	NMVQA
bf	0.91422	0.95588	0.955882	0.875000	0.889706
dv	0.85539	0.94363	0.943627	0.769608	0.735745
fc	0.48039	0.80637	0	0.754902	0.622549
hc	0.95098	0.89216	0.931373	0.419118	0.862745
la	0.83088	0.84559	0.845588	0.674020	0.906863
po	0.90196	0.87745	0.872549	0.769608	0.801471
rb	0.89216	0.87255	0.865196	0.875000	0.953431
sd	0.77866	0.69528	0.683017	0.602085	0.885347
ss	0.82843	0.83578	0.840686	0.870098	0.914216
tk	0.83824	0.82843	0.828431	0.688725	0.784314
平均值	0.82713	0.85531	0.776635	0.729816	0.835639

表 4 各质量评价方法的 RMSE 比较结果

视频名称	PSNR	SSIM	STRRED	VIIDEO	NMVQA
bf	0.3141	0.6632	0.8195	0.6978	0.4072
dv	0.3968	0.2860	0.4465	0.4187	0.5215
fc	0.6154	0.4987	-	0.4126	0.6109
hc	0.3182	0.5924	0.8013	0.8176	0.5776
la	0.3353	0.7315	0.9094	0.6354	0.3243
po	0.3527	0.6399	0.8904	0.8195	0.6299
rb	0.4347	0.8403	0.9999	0.7253	0.4522
sd	0.4482	0.5190	0.7805	0.5643	0.4264
ss	0.4165	0.6645	0.8217	0.5556	0.2810
tk	0.4173	0.5153	0.8606	0.7851	0.6155
平均值	0.40492	0.59508	0.814422	0.64319	0.48465

5 结束语

本文从视频自然统计特性的角度，研究无线网络中压缩编码及无线丢包等因素对视频降质程度的影响，提出基于视频自然统计特性的无参考移动终端视频质量评价算法。实验结果分析表明，本文所提算法的评价结果与主观分值具有较好的一致性，可用于衡量视频压缩编码算法和无线网络性能，并为实时在线调节信源压缩码率和无线信道参数提供参考依据。

参考文献

- [1] LIU Yan and LEE Jack Y B. Streaming variable bitrate video over mobile networks with predictable performance[C]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Doha, Qatar, 2016: 1-7. doi: 10.1109/WCNC.2016.7565108.
- [2] SHAO Hua, WEN Xiangming, LU Zhaoming, et al. Reduced frame set on wireless distorted video for quality assessment[J]. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 2016, 23(4): 77-82. doi: 10.1016/S1005-8885(16)60048-1.
- [3] MOORTHY A K, CHOI L K, BOVIK A C, et al. Video quality assessment on mobile devices: Subjective, behavioral and objective studies[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2012, 6(6): 652-671. doi: 10.1109/JSTSP.2012.2212417.
- [4] SOUNDARARAJAN R and BOVIK A C. Video quality assessment by reduced reference spatio-temporal entropic differencing[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2013, 23(4): 684-694. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2214933.
- [5] SAAD M A, BOVIK A C, and CHARRIER C. Blind prediction of natural video quality[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2014, 23(3): 1352-1365. doi: 10.1109/TIP.2014.2299154.
- [6] MITTAL A, SAAD M A, and BOVIK A C. A completely blind video integrity oracle[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2016, 25(1): 289-300. doi: 10.1109/TIP.2015.2502725.
- [7] HSIAO Yimao, LEE Jengfarn, CHEN Jaishiarnng, et al. H.264 video transmissions over wireless networks: challenges and solutions[J]. *Computer Communications*, 2011, 34: 1661-1672. doi: 10.1016/j.comcom.2011.03.016.
- [8] YU Qingqing and SUN Songlin. Mobile video perception assessment model based on QoE[C]. 16th International Symposium on Communications and Information Technologies, Qingdao, China, 2016: 642-645. doi: 10.1109/ISCIT.2016.7751712.
- [9] 陈希宏, 金跃辉, 杨谈. 3G 网络中移动视频质量评估模型的研究[J]. *计算机科学*, 2015, 42(9): 86-93.
- [9] CHEN Xihong, JIN Yuehui, and YANG Tan. Study on quality assessment model for mobile videos over 3G network [J]. *Computer Science*, 2015, 42(9): 86-93.
- [10] SONG Wei and TJONDRONEGORO D W. Acceptability-based QoE models for mobile video[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2014, 3(16): 738-750. doi: 10.1109/TMM.2014.2298217.
- [11] OLSON S and GROSSBERG S. A neural network for the develop of simple and complex cell receptive fields within cortical maps of orientation and ocular dominance[J]. *Neural Networks*, 1998, 11(2): 189-208. doi: 10.1016/s0893-6080(98)00003-3.
- [12] FREEMAN J and SIMONCELLI E P. Metamers of the ventral stream[J]. *Nature Neuroscience*, 2011, 14(9): 1195-1201. doi: 10.1038/nn.2889.
- [13] LASMAR N E, STITOU Y, and BERTHOUMIEU Y. Multiscale skewed heavy tailed model for texture analysis[C]. 2009 IEEE International conference on Image Processing, Cairo, Egypt, 2009: 2281-2284. doi: 10.1109/icip.2009.5414404.

- [14] MITTAL A, MOOTHY A K, and BOVIK A C. No-reference image quality assessment in the spatial domain[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2012, 21(12): 4695–4708. doi: 10.1109/tip.2012.2214050.
- [15] 孙彦景, 杨玉芬, 刘东林, 等. 基于内在生成机制的多尺度结构相似性图像质量评价[J]. *电子与信息学报*, 2016, 38(1): 127–134. doi: 10.11999/JEIT150616.
- SUN Yanjing, YANG Yufen, LIU Donglin, *et al.* Multiple-scale structural similarity image quality assessment based on internal generative mechanism[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2016, 38(1): 127–134. doi: 10.11999/JEIT150616.
- [16] WANG Z, LU L, and BOVIK A C. Image quality assessment: from error measurement to structural similarity[J]. *IEEE Signal Process Letter*, 2004, 13(4): 600–612. doi: 10.1109/tip.2003.819861.
- 施文娟: 女, 1981 年生, 副教授, 博士生, 研究方向为视觉信息质量评价、信号处理等.
- 孙彦景: 男, 1977 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为无线传感器网络、全双工通信、视觉信息质量评价、信息物理系统等.
- 左海维: 女, 1988 年生, 博士生, 研究方向为无线多媒体通信.
- 曹 起: 男, 1990 年生, 博士生, 研究方向为全双工多媒体通信.