

文章编号: 1003-501X(2009)08-0123-05

视频质量评价中时域信息检测的新方法

袁 飞, 程 恩

(厦门大学 水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 针对视频质量评测中时域信息的检测方法, 本文提出了新的计算方法。该方法根据 ANSI T1.801.03-1996 和 ITU-T Recommendation P.910 时域信息(TI)的概念定义和方法推荐, 采用先对时域梯度图求直方图, 再在所求直方图的基础上进行统计计算的方式, 克服了直接进行时域梯度 RMS 计算带来的乘法运算量与画面像素数成正比从而导致耗时较多的缺陷。实验结果表明, 采用本改进方式的乘法运算量仅取决于直方图的灰度级, 而与具体像素数无关, 在同等条件下的平均计算效率可提高约三倍, 且对时域信息的检测效果与推荐方法相仿。该方法实现简单, 易于集成, 在视频质量评测应用中具有较好的推广价值。

关键词: 视频处理; 质量评价; 时域信息; 时域特征

中图分类号: TN911.23

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-501X.2009.08.023

New Method for Temporal Information Detection of Video Quality Assessment

YUAN Fei, CHENG En

(Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology,
Ministry of Education; Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China)

Abstract: Concerning about the Temporal Information (TI) detection for video quality assessment, a new method is proposed based on the definition and algorithm recommended by the ANSI T1.801.03-1996 and ITU-T Recommendation P.910. At first, image of the temporal derivative would be changed into the histogram domain, and then the statistic calculation (RMS and so on) was done for the temporal information. The drawback of the conventional method was overcome whose workload would increase greatly with the increase of the number of the pixel in scene image. Experimental results show that the computation complexity is dependent on the gray level of histogram, but is independent of the number of the pixel by the new method. In the same experiment condition, the computational efficiency is improved three times while the performance is similar to the conventional method. The algorithm is so simple and feasible that it could be used for the application of video quality assessment.

Key words: video processing; quality evaluation; temporal information (TI); temporal feature

0 引 言

视频及图像质量的客观评价可广泛应用在多媒体产品的开发、销售及应用中, 一直备受业界关注。在过去的十几年内, 出现了许多针对视频及图像质量客观评价的方法^[1]。这些方法根据其原理, 可主要分成三大类: 1) 基于数理统计理论的评价方法: 通过统计参考图像和待测图像在像素层上的绝对差值, 得到画面的质量保真度。由于完全忽略人眼视觉特性对图像质量评测的影响, 算法虽然实现简单, 但评测结果与人的主观感受偏离较大。此外, 仅面向静止画面(空域)的评价应用, 并不适合针对运动序列(时域)的评价应

收稿日期: 2009-01-22; 收到修改稿日期: 2009-04-02

基金项目: 福建省自然科学基金青年科技人才创新资助项目(2009J05154)

作者简介: 袁飞(1979-), 男(汉族), 福建福州人。讲师, 博士, 研究方向为多媒体水声信号传输及处理。E-mail: yuanfei@xmu.edu.cn.

用。2) HVS 特性的仿生理理论方法: 通过“自下而上”的方式模仿人眼感知机制构建滤波器组, 以实现画面的劣化感知和评测。由于对人眼视觉感知机制的认识还很有限, 因此仿生模型的实现通常非常复杂, 且模型并不具有较好的实用性。3) HVS 特征的特征提取方法: 利用人眼视觉机制, “自上而下”的方式设计能典型代表画面质量的单个或多个特征参数, 从而实现素材质量评测。其算法融合了 HVS 特性, 比 1) 类方法具有更好的主观相似性, 同时较 2) 类方法更易于工程实现。从目前国内外研究动态及标准化情况看, 第 3) 类方法是视频、图像质量评价技术的发展趋势, 具有较好的应用前景和研究意义。

1 视频序列的时域劣化分析

视频信号是三维数据信息, 包括空域 X 、 Y 轴和时域 Z 轴。在面向静止画面的质量评价中, 主要关注画面清晰度等空域指标; 而在针对运动序列(视频)的质量评价中, 除了关注空域的清晰度指标外, 还必须考虑序列流畅性指标。视频流畅性反映的是视频在时域上的质量。

在无线视频、网络视频等应用中, 除了常见的空域劣化形态(如马赛克、模糊、噪声等), 还常发生诸如画面凝固、画面卡顿、以及画面跳跃等导致视频流畅性降低的现象。这些现象主要源于视频时域信息的损伤。要实现视频质量客观、准确的评价, 就必须在视频质量的评价中关注对时域信息的检测和评价, 这已经成为视频质量评价技术研究的共识。常见的视频时域失真可归纳成两种类型的时域能量异常^[2], 即: 时域能量丢失和时域能量增加, 如表 1 所示。其中, 运动能量差增加则体现为误块、迟滞或噪声; 运动能量差减少则体现为画面迟滞; 而重复帧则属画面迟滞凝固的特例。2008 年, VQEG MM(Multi-Media)组发布了针对多媒体质量评价模型的最终报告^[3](Phase I, 2008-06); 随后, 四种模型被 ITU-T J.247^[4] (2008-08) 推荐为多媒体视频质量的评测方法。这四种模型(NTT、OPTICOM、Psytechnics 和 Yousei 大学)均不例外地设置了时域信息参数。要实现上述指标的设计, 就必须先对视频的时域信息(TI, Temporal Information)进行检测。

表 1 视频劣化与时域特征对照

Table 1 Comparison between the degradation and temporal information

Temporal feature	Description
Temporal energy decreasing	Packet loss, error packet result in snapshot and so on
Temporal energy increasing	Error packet had been recovered result in the frame skipping

2 视频时域信息的检测方法

2.1 传统的时域信息检测方法

传统的时域信息(TI)主要是基于 ANSI T1.801.03-1996^[5]和 ITU-T Recommendation P.910^[6]的定义和推荐方法, 如式(1)所示。其中 $F(t_n)$ 和 $F(t_{n-1})$ 分别表示 t_n 时刻和 t_{n-1} 时刻帧画面的亮度信息, rms_{space} 是计算时域梯度上总的 RMS(Root Mean Square)能量。

$$TI(t_n) = rms_{space}[F(t_n) - F(t_{n-1})] \quad (1)$$

从式(1)中可见, 计算分两个步骤, 即时域梯度计算和梯度空域图的均方根计算。根据均方根 RMS 的计算定义, 设梯度画面规格为 $M \times N$, 则梯度画面的 RMS 计算表达如式(2):

$$rms_{space}[Y(i, j, t)] = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Y(i, j, t)^2} \quad (2)$$

其中: $Y(i, j, t)$ 表示在 t 帧的梯度画面; i 、 j 分别表示空域 X 和 Y 方向的像素坐标点, $i \in [1, M]$, $j \in [1, N]$ 。

可见对传统的 TI 计算而言, 其计算量主要是在梯度空域图的均方根处理; 而式(2)进一步表明, CPU 资源的耗费又集中体现在处理梯度图中各像素点的平方和(即体现在乘法类运算)。因此, 其计算量与视频图像的分辨率存在直接关联: 如对 QCIF 格式(176×144)的视频画面, 则至少需要 176×144 次乘法运算。当视频画面空域分辨率增加时, 其乘法运算量也随之增大, 从而导致整体算法的计算量亦增大。

2.2 基于直方图的时域信息检测方法

从上述分析可见, 传统时域信息检测与画面格式关系密切, 在视频空域格式(或分辨率)增大时, 导致算法运算量激增。而在视频质量评测中, 时域信息检测迫切需要运算量低、执行效率高的方法, 以快速对整体的视频序列进行时域的统计计算。为此, 本研究基于直方图理论, 对时域信息检测的方法进行改进。

我们知道图像的直方图表达了图像中不同灰度级像素出现的次数。设灰度级在范围 $[0, L-1]$ 的数字图像, 其直方图是一个离散函数, $h(r_k)=n_k$, 其中 $k=2^L$ 。如对 $L=8$ 的亮度画面, 不论是 QCIF(176×144)还是 CIF(352×288), 其直方图均为各灰度级($k=256$)上的像素总数。根据上述特性, 如果先计算梯度画面(记为 Y)的直方图, 再对直方图信息做相关的统计计算(包括 RMS 等方法), 就可将 RMS 的计算量限制在灰度级个数的范围内(如本例则限制在大约 256 个乘法量级)。新方法的具体实施步骤如下:

首先, 计算视频的时域梯度图像 $Y(t_n)$, 视频空域格式(或分辨率)为 $M \times N$, $F(t_n)$ 和 $F(t_{n-1})$ 分别表示 t_n 时刻和 t_{n-1} 时刻视频帧的亮度信息, 则对应关系为

$$Y(t_n) = |F(t_n) - F(t_{n-1})| \tag{3}$$

其次, 对时域梯度图像 $Y(t_n)$ 求直方图, 记函数 $imhist[\]$ 表示求直方图的操作, $hod(i, t_n)$ 表示 t_n 时刻第 i 个灰度级的统计个数, 其中 $i \in [0, 2^L-1]$ 。则关系为

$$hod(i, t_n) = imhist[Y(t_n)] \tag{4}$$

最后, 对经过直方图处理后的信息再根据 ANSI T1.801.03-1996 或 ITU-T Recommendation P.910 推荐的方案, 计算统计信息。记 R_{pix} 表示总像素点, $HoD(t_n)$ 表示 t_n 时刻时域信息量化值, k 为灰度级总数($k=2^L$), 则表达关系为

$$HoD(t_n) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^k i \times hod(i, t_n) \tag{5}$$

由上述步骤可见, 对时域梯度图像进行直方图处理后, 图像的尺寸大小只与式(4)的直方图计算有关, 而与式(5)的乘法运算无关。故本时域信息计算方法的乘法运算量仅与画面的灰度级个数有关, 而与图像的尺寸大小无关。当画面增大时, 以加法运算为主的直方图计算量增加; 而乘法运算量在图像灰度级固定的前提下并不增加。因此, 本时域信息计算方法相比传统方法, 其所需的乘法计算量不会随图像画面大小的增大而增加, 计算效率相对较高。

3 性能对比及讨论

性能测试的目的在于了解算法在视频时域信息检测方面是否能相似传统 TI 的检测效果。

3.1 测试素材设计

测试实验面向无线视频应用, 其参考视频的格式主要由三类分辨率组成: QCIF(176×144), CIF(352×288)以及 SIF(352×240), 且参考素材均为标准视频序列^[7]。在无线视频的传输仿真中, 时域上的帧凝固和帧跳跃是常见的劣化形态。本研究的劣化素材制作尽可能反映无线视频典型劣化特征^[8]。为此, 论文对经过无线信道误码模板劣化后的视频素材再进行数据处理(包括信息抽取、替换、重复、删除等), 从而模拟出既有空域劣化, 又有典型时域损伤的无线劣化视频素材。时域劣化仿真参数的设计如下表 2 所示。设置的劣化参数级别划分成 6 级, 级别越高表示对应的时域劣化越显著。帧凝固百分率表示凝固帧占总帧数的比值, 比值越高则画面凝固时间越长, 质量越差。帧跳跃频次表示素材出现时域劣化的次数。跳跃间隔表示劣化帧在时域上的间隔。需要说明的是上述三类劣化是可交叉组合, 形成所需的时域劣化形态。

表 2 劣化参数配置

Table 2 Simulation configuration

Error type	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V	Type VI
Freezing frame ratio	1%	5%	10%	15%	30%	50%
Frame Frequency	1	2	3	5	8	10
skipping Skipping interval	3	5	10	15	20	30

3.2 方法性能分析

1) 性能有效性分析

新方法性能有效性实验是利用本研究方法(记为 Proposed)对不同内容视频素材,以及典型劣化条件下的视频素材进行测试,并将测试效果与相同测试条件下传统时域信息(记为 ANSI)检测效果进行对比,从而了解新方法是否可较好地保持推荐方法的检测性能。受篇幅限制,以素材(Suzie.QCIF 和 Coastguard.QCIF)的测试对比效果为例说明新方法的性能继承性。如图 1 所示,其中图例“Proposed”表示本研究提出的时域信息检测方法对素材的检测效果;图例“ANSI”表示传统时域信息检测方法对参考素材和待测素材的检测效果。图 1(a)、1(b)为分别用传统方法和本研究方法对 Coastguard.qcif 序列的时域信息检测效果;图 1(c)、1(d)为分别用传统方法和本和研究方法对 Suzie.qif 序列的时域信息检测效果。通过图 1 中(a)和(b), (c)和(d)两组的对照可见:本研究所提出的视频质量时域信息检测方法与传统方法除了数值上的差异及个别点形态差异外,具有大体相似的检测包络,说明新方法能有效保持传统时域信息检测方法的既有特性。

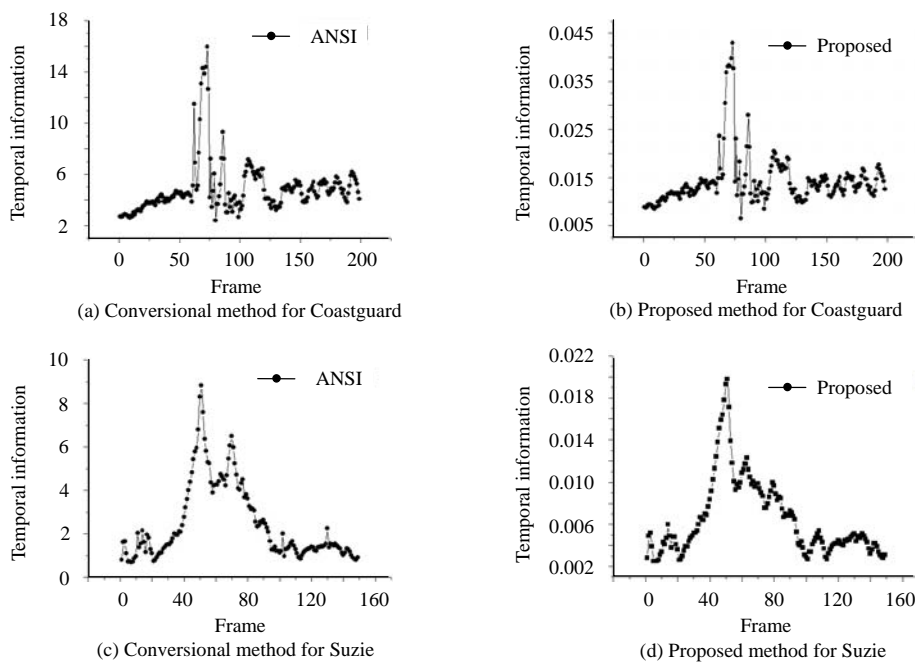


图 1 本方法与传统方法的 TI 检测效果对照

Fig.1 Comparison about the two methods for TI detection

上述图 1 展示了本方法和传统方法对素材时域信息检测的效果图,为进一步说明二者在检测性能上具有较好的继承性,继续对上述 Coastguard 和 Suzie 序列的素材劣化检测进行测试,并通过散点图的形式比较性能差异,如图 2 所示。图中,水平轴表示用传统方法检测的数值分部,纵轴表示用本研究方法检测的数值分部,通过二者的散点分布图来对数值映射性能进行探讨。从图中可见,本研究方法和传统方法在在

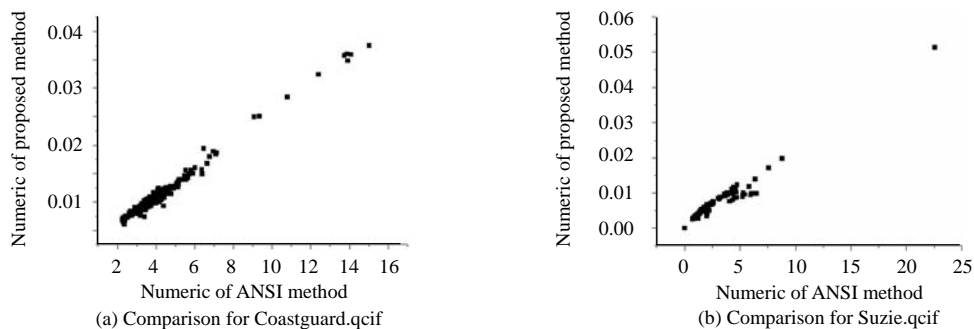


图 2 本方法与传统方法的 TI 检测效果对照

Fig.2 Comparison about the two methods for TI detection

数值上存在线性映射关系, 散点紧凑地分部在“ $Y=X$ ”(约 45° 角)的范围内, 充分说明本研究方法与传统方法具有很强的线性相关性。

2) 性能改善性分析

上面篇幅说明了新方法对传统方法具有较好的性能继承性, 事实上, 新方法相比传统的时域信息检测, 其改善性主要体现在较低的 CPU 资源消耗。以 QCIF(176×144)素材为例, 如果用推荐的传统方法直接计算整个图像的 RMS, 那么至少需要与图像像素点数一样多的乘法运算($176 \times 144=25344$ 次); 而新方法是先对 176×144 像素点进行直方图统计, 再在直方图域上进行统计计算(乘法计算)。这样修改的最大好处在于, 直方图运算过程是以加法形式为主, 因此图像像素的增加只体现在加法运算量的增加。而在直方图域进行统计计算时, 乘法计算的个数就仅取决于直方图的灰度等级。对于固定灰度等级(如常用的灰度级=256), 乘法运算的次数是与图像大小无关的。从上述理论分析可见, 本文提出的视频时域信息检测方法通过先进行帧差直方图计算, 再进行统计计算的方式, 将乘法运算次数限制在直方图灰度级个数的范围内, 避免了传统方法乘法个数随画面像素数增加而增大的缺陷, 可在保持相近检测效果的前提下, 大大降低运算量。受篇幅所限, 列举采用传统推荐方法与本方法对部分实验素材的时域信息检测所需的运算量对比(如表 3)。

从表 3 中可见, 在同等测试条件(Celeron M 1.4G, 256 MB 内存, XP 操作系统)下, 新方法平均运算速度较传统方法提高了 3 倍以上。图 3 给出三种视频格式下的平均耗时对照图。从中可以看出新方法对 CIF、SIF 格式的计算耗时与使用传统对 QCIF 的耗时相近, 说明新方法在同等 CPU 资源消耗条件下, 可处理更高分辨率的视频图像格式, 具有更强的运算效率。

表 3 运算量对比列表

Table 3 Comparison about computational complexity

Source name	Conventional method time consume /s	Proposed method time consume /s
Foreman.qcif	0.020 09	0.006 15
News.qcif	0.020 31	0.005 89
Mobile&Cal.qcif	0.020 31	0.006 32
Tempete.cif	0.121 44	0.029 62
Bridge.cif	0.116 66	0.028 80
Flower.sif	0.093 34	0.024 41

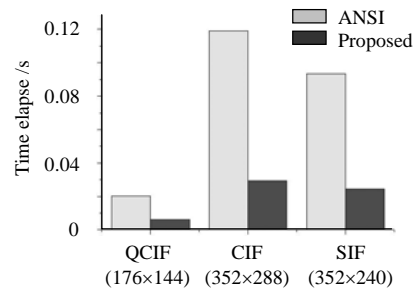


图 3 本方法与传统方法的平均耗时对照

Fig.3 Comparison about average time cost

4 结 论

本文针对视频质量客观评价中时域信息的检测应用, 对 ANSI T1.801.03-1996 及 ITU-T Recommendation P.910 推荐的时域信息检测方法进行适当改进。算法较传统方法有较大的性能提升(同等条件下算法速度平均提升 3 倍), 且算法实现简单, 易于集成。可作为传统推荐方法的有效补充, 在视频质量客观评价中具有一定的推广价值。

参考文献:

- [1] 佟雨兵, 胡薇薇. 视频质量评价方法综述[J]. 计算机辅助设计图形学学报, 2006, 18(5): 735-741.
TONG Yu-bin, HU Wei-wei. A Review on Video Quality Assessment Methods [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2006, 18(5): 735-741.
- [2] Ong Ee Ping, Yang Xiaokang, Lin Weisi, *et al.* Perceptual quality and objective quality measurements of compressed videos [J]. *Journal of Visual Communication & Image Representation*(S1047-3203), 2006, 17(4): 717-737.
- [3] VQEG. Final report from the Video Quality Experts Group on the validation of objective models of multimedia quality-Phase I VQEG Final Report [EB/OL]. <ftp://vqeg.its.bldrdoc.gov>, 2008.

(下转第 133 页)

- Guangzhou, China, Nov 22-23, 2007. Berlin, Germany: Springer-Verlag, **4847**: 703-712.
- [5] HUANG Ching-yu, LIU Li-min, DOUGLAS HUNG D C. Fingerprint analysis and singular point detection [J]. **Pattern Recognition Letters** (S0167-8655), 2007, **28**(15): 1937-1945.
- [6] WANG Lin, DAI Mo. Application of a new type of singular points in fingerprint classification [J]. **Pattern Recognition Letters** (S0167-8655), 2007, **28**(13): 1640-1650.
- [7] FAN Dong-jin, FENG Ju-fu. Fingerprint segmentation based on local Fourier transform [J]. **Proc. of SPIE**(S0277-786X), 2007, **6786**: 67862W.1-67862W.8.
- [8] Aguilar Gualberto, Sanchez Gabriel, Toscano Karina, *et al.* Fingerprint Recognition [C]// **IEEE Second International Conference on Internet Monitoring and Protection**, San Jose, CA, USA, July 1-5, 2007: 32.
- [9] Bouchaffra, Djamel, Amira, Abbas. Feature Generation and Machine Learning for Robust Multimodal Biometrics [J]. **Pattern Recognition Letters**(S0167-8655), 2008, **41**(3): 852-867.
- [10] Tachaphetpiboon S, Amornraksa T. A fingerprint matching method using DCT features [C]// **IEEE International Symposium on Communications and Information Technology**, Beijing, China, Oct 12-14, 2005, **1**: 446-449.
- [11] 罗菁, 林树忠, 詹湘琳, 等. 基于 2DPCA 和 EBFNN 的指纹识别方法 [J]. **光学精密工程**, 2008, **16**(9): 1773-1779.
LUO Jing, LIN Shu-zhong, ZHAN Xiang-lin, *et al.* A novel fingerprint recognition algorithm based on 2DPCA and EBFNN [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2008, **16**(9): 1773-1779.
- [12] WANG Li-wei, ZHANG Yan, FENG Ju-fu, *et al.* On the Euclidean distance of images [J]. **IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence**(S0162-8828), 2005, **27**(8): 1334-1339.
- [13] JAKUBEK S, STRASSER T. Fault-diagnosis using neural networks with ellipsoidal basis functions [C]// **2002 Proceedings of the American Control Conference**, Anchorage, AK, USA, May 8-10, 2002, **5**: 3846-3851.
- [14] LUO Jing, CHEN Zai-ping, NI Jian-yun. Fault diagnosis of power transformer based on ellipsoidal basis functional neural network [C]// **2007 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition**, Beijing, China, Nov 2-4, 2007, **2**: 695-698.
- [15] WEN Ying, SHI Peng-fei. An approach to numeral recognition based on improved LDA and Bhattacharyya distance [C]// **ISCCSP 2008: 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing**, St. Julians, Malta, March 12-14, 2008. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 309-311.

~~~~~  
( 上接第 127 页 )

- [4] ITU-T. Objective perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference ITU-T Recommendation J.247 [EB/OL]. <ftp://www.itu.int/itu-t>, 2008.
- [5] American National Standard for Telecommunications. ANSI Standard T1.801.03, Digital Transport of One-Way Video Signals - Parameters for Objective Performance Assessment [S]. 1996.
- [6] ITU-T. Subjective video quality assessment methods for multimedia applications, ITU-T Recommendation P.910 [EB/OL] <http://www.itu.int/itu-t>, 1999.
- [7] 袁飞, 黄联芬, 姚彦. 一种基于 HVS 特性的视频质量评测方法[J]. **光电工程**, 2008, **35**(1): 120-125.  
YUAN Fei, HUANG Lian-Fen, YAO Yan. Method for video quality evaluation based on HVS properties [J]. **Opto Electronic Engineering**, 2008, **35**(1): 120-125.
- [8] Koumaras H, Kourtis A, Martakos D. Evaluation of video quality based on objectively estimated metric [J]. **Journal of Communications and Networks**(S1229-2370), 2005, **7**(3): 235-242.