

网络视频质量评估技术研究现状及发展动向

杨付正¹, 万帅²

(1.西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西 西安 710071; 2.西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 网络视频质量评估是保证网络视频业务质量的关键技术。依据对网络视频码流的介入程度, 客观网络视频质量评估模型可分为参数规划模型、分组层评价模型、比特流层评价模型、媒体层评价模型及混合评价模型 5 大类。首先介绍了网络视频质量评估方法的各种分类及应用场景, 并基于影响网络视频质量的重要因素, 分别详细综述了各模型的特点、关键技术、最新研究成果及标准化进程。

关键词: 网络视频; 视频质量评估; 视频传输

中图分类号: TN919.8

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)04-0107-08

Overview of state-of-the-art and future of networked video quality assessment

YANG Fu-zheng¹, WAN Shuai²

(1.State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. School of Electronic and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Assessment of networked video quality is the key to ensure the quality of service for networked video applications. From the viewpoint of the employed video information and the level of access to the bit-stream, objective quality-assessment models can be categorized into the parametric-planning model, parametric packet-layer model, parametric bit-stream-layer model, media-layer model, and hybrid model. The classification and application of networked video quality assessment was first introduced. Then the characteristics, key techniques, state-of-the-art, and standardization process of each model were described based on the key factors which impact the networked video quality.

Key words: networked video; video quality assessment; video transmission

1 引言

随着通信技术的发展, 网络已经自然而深刻地融入人类的日常生活和工作。人们希望借助于泛在网络, 随时随地通过语音、图像以及视频等多种方式进行灵活通信。由于视觉信息直观、生动, 因此网络视频业务受到了人们的广泛青睐, 成为网络提供的主要业务应用之一。

网络视频业务占用带宽资源较多、实时性要求较高, 并且对分组丢失、时延、抖动等网络特性非常敏感, 尤其是时变的网络特性严重影响网络视频业务的质量。通过对网络视频质量的监控和反馈, 可以调节编解码器或信道的参数, 改善传输视频的服务质量。因此, 需要实时准确地对网络视频服务质量进行监控, 获得反映用户感受的视频体验质量。有效的网络视频质量评估已经成为网络视频业

收稿日期: 2010-08-16; 修回日期: 2011-05-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60902081, 60902052); 国际科技合作计划基金资助项目(2010DFB10570); 西安电子科技大学基本科研业务基金资助项目(72004885)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (60902081, 60902052); International Science & Technology Cooperation Program of China (2010DFB10570); The Fundamental Research Funds for the Central Universities (72004885)

务发展的迫切需要, 国际标准化组织 ITU-T、VQEG 等正在致力于相关研究的标准化工作^[1-4]。

传统的服务质量(QoS, quality of service)只反映网络性能参数, 如带宽、分组丢失率、延时、抖动等。由于网络压缩视频流极易受分组丢失等网络状况的影响, 且数据分组丢失对视频质量的影响与分组丢失的位置、视频的内容密切相关, 分组丢失率等 QoS 参数无法准确反映网络视频的体验质量(QoE, quality of experience)^[5]。主观质量评估^[6]可以准确地反映视频的体验质量, 但是主观评估需要严格的测试环境, 易受人为因素影响, 实施步骤复杂, 代价昂贵, 且实时性不好, 无法应用于实时视频通信中的质量评估。客观质量评估方法更适用于网络视频业务, 客观网络视频质量评估方法研究已经成为了视频技术研究领域的热点和难点^[7,8]。

评估网络视频的质量还需要考虑分组丢失、延时、抖动等网络因素, 而各因素对视频质量的影响与视频的多种特性相关。同时, 网络状况的时变性也为准确评价网络视频质量增加了困难。本文重点介绍各类网络视频质量评估方法及关键技术。

本文首先介绍网络视频质量评估方法的分类及应用场景, 进而综述不同网络视频质量评估方法的关键技术。第 2 节介绍网络视频质量评估方法的分类及应用场景。第 3~7 节分别介绍应用于评估网络视频质量的基于网络参数的规划模型、基于分组层分析的评价模型、基于比特流分析的评价模型、基于像素的评价模型以及混合评价模型。最后总结全文。

2 网络视频质量评估

影响网络视频质量的主要因素为编码压缩和数据分组丢失^[7], 如何有效评价压缩失真和数据分组丢失对视频质量的影响是建立网络视频质量评估模型的关键环节。视频编码的压缩失真由有损压缩引起, 因此视频的压缩失真与采用的压缩标准、压缩速率等因素直接相关。而网络数据分组丢失会导致视频的相关部分无法直接恢复, 且由于视频压缩算法通常采用预测方式来提高压缩效率, 单个数据分组丢失引起的错误将会通过预测环节进行传播, 进而可能导致连续多个视频帧质量的下降。此外, 即时性是交互式视频的特点, 因此时延、抖动也是影响交互式视频质量的关键

因素。对于确定的网络视频传输系统, 接收终端往往采用缓存机制消除小的时延和抖动, 而对具有较大时延的数据分组做丢弃处理, 从而使得时延、抖动对视频质量的影响也体现为数据分组丢失。因此本文主要讨论数据分组丢失这一网络参数对视频质量的影响。

根据对原始参考视频的需求程度, 视频客观质量评估可以分成 3 大类: 全参考视频质量评估、部分参考视频质量评估和无参考视频质量评估^[8]。全参考质量评估方法需要完整的参考视频, 如目前广泛使用的峰值信噪比(PSNR, peak signal to noise ratio)^[9]。部分参考质量评估方法是指提取原始视频和失真视频的少量特征信息, 然后对特征数据进行对比分析预测视频质量^[10]。无参考质量评估方法则不需要任何原始视频信息, 通常是分析提取视频序列中的某些特征失真(如块效应、模糊等), 然后根据特征失真的严重程度来预测视频质量^[11]。

网络视频通信(如图 1 所示)主要包括信源编码器、承载网络以及终端解码播放器。由于编码端可以方便地得到参考视频, 因此评价编码器输出视频的质量(如 A 点)可以采用全参考的视频质量评估方法。而接收终端及网络节点往往无法得到完整的参考视频, 因此只能使用无参考或部分参考质量评估方法。其中, 网络节点通常需要同时对大量视频流进行质量监控(如 B 点), 这就要求所采用的评估方法具有低的计算复杂度, 接收终端(如 C 点)则对计算复杂度要求相对宽松, 而解码后视频的质量评价(如 D 点)只能利用重建视频信息。根据所使用的信息类型, 网络视频客观质量评估方法可以具体分为: 参数规划模型、分组层评价模型、比特流层评价模型、媒体层评价模型及混合评价模型等^[12]。

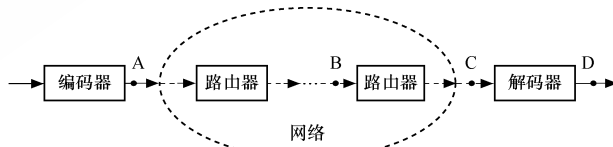


图 1 网络视频通信框架

3 参数规划模型

参数规划模型根据网络及承载视频的参数预测传输视频的质量, 该模型通常应用于网络及业务规划, 即在已知网络状况的情况下预测传输不同参

数视频流可以得到的视频质量。由于视频的质量往往随着码率的增加及分组丢失率的减少而增加，早期的方法常利用神经网络的方式综合使用网络和编码参数统计预测视频质量^[13]。现有参数规划模型则分别考虑编码参数和网络特性的影响，如图2所示，首先根据编码标准、比特率、帧率等编码参数预测视频的压缩失真，然后利用分组丢失率预测数据分组丢失对视频质量的影响，进而联合2种失真评价得到整体视频质量。

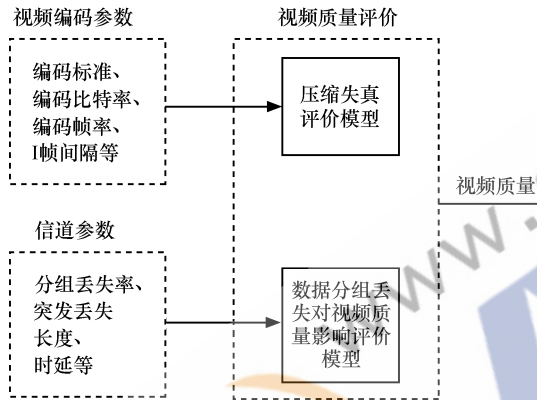


图2 网络参数规划模型

对于特定的网络视频，当没有发生数据分组丢失时，视频重构质量完全取决于压缩失真。根据主观实验结果，德国电信提出视频的压缩失真评价模型^[14]为

$$I_{\text{cod}} = a_1 \exp(a_2 R) + a_3 \quad (1)$$

其中， R 为视频的压缩码率， a_1 、 a_2 、 a_3 为通过训练得到的参数。数据分组丢失造成视频质量下降为

$$I_{\text{tra}} = (b_0 - I_{\text{cod}}) \cdot \frac{P_{\text{pl}}}{b_1 + P_{\text{pl}}} \quad (2)$$

其中， P_{pl} 为分组丢失率， b_0 、 b_1 为通过训练得到的参数。最后得到视频的质量为

$$Q_v = Q_{\text{vo}} - I_{\text{cod}} - I_{\text{tra}} - I_{\text{res}} - I_{\text{dis}} \quad (3)$$

其中， Q_{vo} 为原始视频的质量， I_{res} 、 I_{dis} 分别为视频空间分辨率变化及显示过程引起的失真。

NTT则考虑对于一个特定压缩码率都有一个最佳编码帧率，因此结合视频帧率、压缩码率编码参数预测只考虑压缩失真时的视频质量^[15]为

$$Q_c = 1 + a(R) \exp\left(-\frac{(\ln(r_f) - \ln(\text{o}fr(R)))^2}{2w^2(R)}\right) \quad (4)$$

其中， R 为压缩码率， r_f 为压缩帧率， $\text{o}fr(R)$ 是码率为 R 时的最优帧率， $a(R)$ 是码率为 R 且帧率为 $\text{o}fr(R)$ 时视频的质量， $w(R)$ 是码率为 R 时视频质量受帧率的影响程度。进一步考虑数据分组丢失，网络视频的预测质量为

$$Q = Q_c \exp\left(-\frac{P_{\text{pl}}}{\tau(r_f, R)}\right) \quad (5)$$

其中， P_{pl} 为分组丢失率， $\tau(r_f, R)$ 为码率为 R 且帧率为 r_f 时视频质量受分组丢失的影响程度。该模型取得了较好的性能，在此基础上形成了ITU-T标准G.1070^[1]。

总体来说，网络参数规划模型的主要用途是网络业务规划，利用信道和编码等参数从统计角度预测视频质量。对于某个特定的视频码流，使用其具体的信道及编码参数，该类模型也可以对其进行质量监控^[16,17]。然而，由于参数规划模型无法考虑特定视频流的内容及数据分组丢失的具体位置等特性，该类模型无法准确监测特定网络视频流的质量。

4 分组层评价模型

分组层评价模型只允许使用数据分组的头信息预测视频流质量。该类模型由于只分析数据分组的头信息，计算复杂度低，适用于网络节点监控大量视频流的质量。另外，该模型适用于视频载荷信息进行过加密的情况。分组层评价模型P.NAMS目

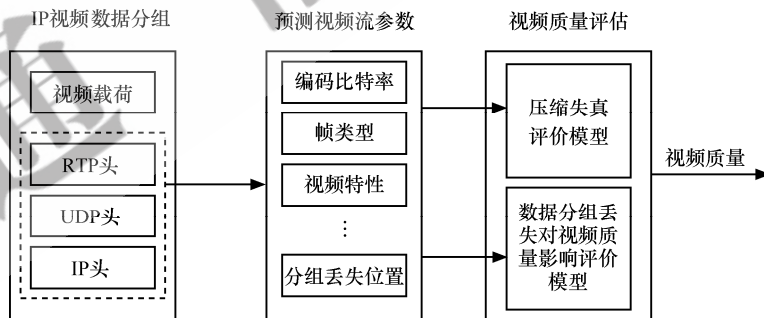


图3 分组层评价模型

前正处在 ITU-T 标准化进程中^[3]。

MPEG 2-TS/RTP/UDP/IP、MPEG 2-TS/UDP/IP、RTP/UDP/IP 是目前较常用的视频流传输协议栈^[18~21]。图 3 给出了基于 RTP/UDP/IP 协议栈视频流的分组层评价模型框架。该类模型只允许介入视频数据分组的头信息：RTP 头、UDP 头和 IP 头，通过分析头信息提取或预测视频及网络参数，进而评估视频流的质量。例如，通过 UDP 头和 RTP 头准确得到视频分组载荷信息的比特数，通过 RTP 头的序列号得到数据分组的丢失位置，通过 RTP 头时间戳和帧结束标识区分不同的视频帧等^[22]。

图 4 给出了 4 个 QCIF 格式的视频序列(“Claire”、“Mother&daughter”、“Mobile”和“Football”)使用 H.264/AVC 标准^[23]压缩后的恢复视频主观质量与压缩码率的关系，该主观质量为通过主观质量评估试验得到^[23]，可以看到视频主观质量与压缩码率有近似的指数关系，但不同序列对应的指数参数不同，这与不同视频具有不同的内容特性空域复杂度和时域复杂度有关。可见，由于未考虑视频特性，网络参数规划模型如式(1)和式(4)都无法反映内容特性对视频质量的影响。

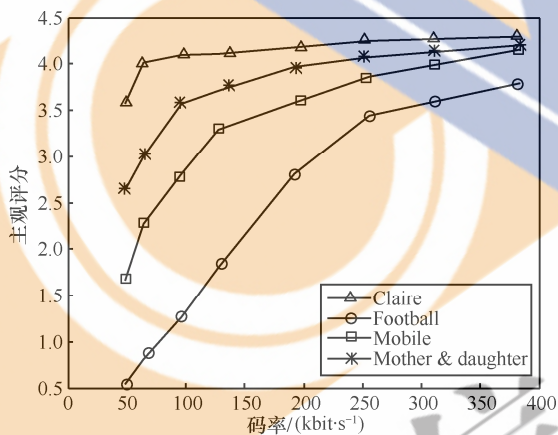


图 4 视频主观质量与压缩码率的关系

当视频遭受数据分组丢失时，往往采用时域错误掩盖方法来恢复视频，视频的时域相关性是影响时域错误掩盖方法效果的重要因素，数据分组丢失对视频质量的影响与视频的内容特性密切相关。另外，错误传播是数据分组丢失影响视频质量的另一关键因素。图 5 描述了在不同类型的帧中发生分组丢失与错误传播的关系，可以看到帧内编码模式帧(I 帧)和帧间编码模式帧(P 帧)数据的丢失会导致后续多个视频帧质量下降，时域错误传播通常会持续到下一个 I 帧才结束^[7]；而双向帧间编码模式帧(B 帧)数据丢失只影响当前帧的质量。因此，评价数据丢失对视频质量的影响还需要考虑数据分组丢失的具体位置和所处的帧类型等特性。

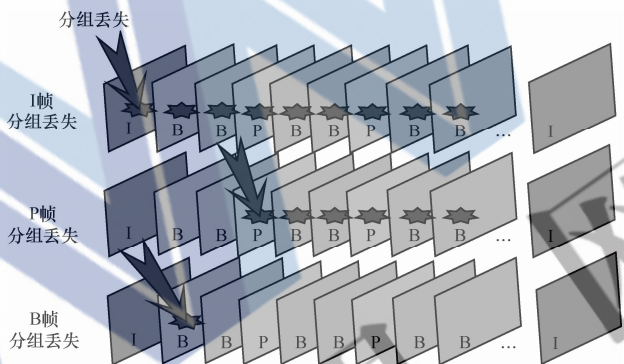


图 5 分组丢失发生在不同类型帧造成的错误传播

综上所述，由于网络视频质量与视频内容特性密切相关，在仅允许使用数据分组头信息的情况下，需要尽可能地提取或预测视频的内容特征参数。文献[24]提出根据每个视频帧的压缩速率预测视频帧的类型，进而确定数据分组丢失引起的错误传播长度。文献[25]提出利用分组头信息预测视频帧类型、视频帧内容复杂度等特性，进而提高预测视频流质量的精度。值得注意的是只利用分组头信息并不能准确获得视频帧的特征信息，因此该类模

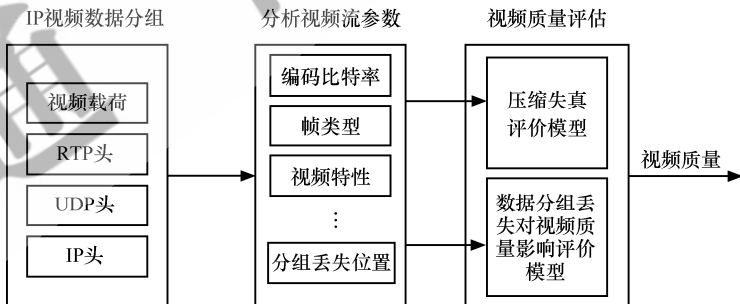


图 6 比特流层评价模型

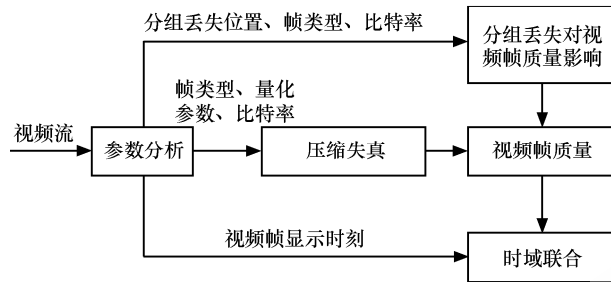


图 7 只分析视频头的比特流层评价模型

型的性能会受到一定限制。

5 比特流层评价模型

比特流层评价模型允许介入视频数据分组的载荷信息，因此可以较准确地预测或得到视频帧的特征信息。图 6 给出了一个常用的比特流层评价模型框架。该类模型通过分析分组头和视频载荷信息来预测或获取视频特征参数，通常包括：帧类型、内容特征、量化因子、编码速率、分组丢失位置等，然后结合压缩视频流的特征预测视频流的质量。使用的特征信息越多通常可以越准确地预测视频质量，但同时意味着需要对视频流进行越深入的介入和分析^[26]。ITU-T 正在标准化比特流层评价模型 P.NBAMS^[4]。

比特流层评价模型常被用于预测视频的 PSNR^[27-30]。由于 PSNR 在很多情况下并不能很好地反映视频的主观质量，实际应用中更倾向于使用符合视觉感知的视频质量评估方法，如结合视频的内容特性预测网络视频的质量^[31]，以及使用量化参数预测视频流的质量等^[32]。考虑模型的运算复杂度，本文提出了一种只分析分组头和视频头的比特流层评价模型^[33]，能够有效给出符合视觉感知的视频质量预测（如图 7 所示）。视频流分析模块首先得到每个视频帧的编码信息（帧类型、压缩比特率、量化参数）、丢失数据分组的位置（丢失比特数、所属帧数）及每个视频帧的持续显示时间。进而根据编码信息由压缩失真预测模块预测每一个视频帧的压缩失真，再根据分组丢失信息预测数据分组丢失对每个视频帧的影响，之后联合压缩失真和数据分组丢失造成的影响得到每个视频帧的质量，最后考虑视频的时域失真，结合每个视频帧的持续显示时间，使用时域联合算法得到整个视频序列的质量。

比特流层评价模型的关键是如何预测每个视频帧的压缩失真和数据分组丢失对每个视频帧质

量的影响。由于量化是引起视频压缩失真的根本原因，图 8 给出了 QCIF 格式视频序列“News”、“Susie”、“Mobile”和“Football”采用 MPEG-4 标准压缩后的恢复视频主观质量与量化参数的关系，表明量化参数与视频的压缩质量成近似的线性关系，但对于不同的视频序列直线的斜率不同，这反映了人眼的空域掩盖效应和时域掩盖效应。

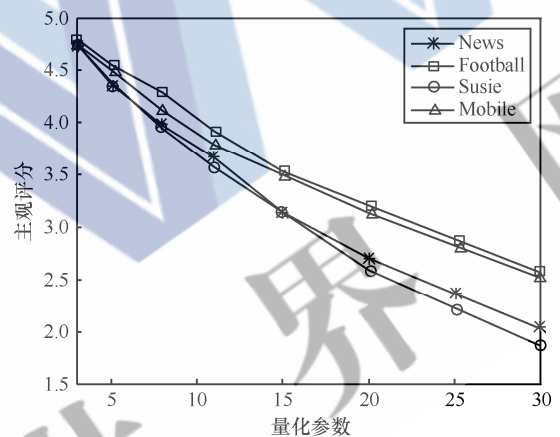


图 8 压缩视频主观质量与量化参数的关系

比特流层评价模型首先预测视频帧的基本压缩质量：

$$Q'_{F,C,n} = a_1 Q_{p,n} + b_1 \quad (6)$$

其中， $Q_{p,n}$ 为第 n 帧的量化参数。然后考虑人眼的视觉特性，结合人眼的空域掩盖效应和时域掩盖效应预测视频帧的压缩质量，将视频帧质量修正为

$$Q_{F,C,n} = Q'_{F,C,n} + (b_1 - Q'_{F,C,n}) \left(\left(\frac{\sigma_{S,n}}{a_2} \right)^{b_2} + \left(\frac{\sigma_{T,n}}{a_3} \right)^{b_3} \right) \quad (7)$$

其中， $\sigma_{S,n}$ 为视频的空域复杂度， $\sigma_{T,n}$ 为视频的时域复杂度， a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 、 a_3 、 b_3 为模型参数。

初步获得考虑压缩失真的视频质量之后，根据数据分组丢失的数量和位置预测数据分组丢失对

每个视频帧质量的影响。数据分组丢失引起当前帧质量下降及错误传播引起的质量下降分别为

$$d_{e,n} = Q_{F,C,n} \left(\frac{\sigma_{T,n}}{a_6} \right)^{b_6} \quad (8)$$

$$d_{p,n} = d_r \left(1 + \left(\frac{\sigma_{T,n}}{a_7} \right)^{b_7} \right) \quad (9)$$

其中, $d_{e,n}$ 为数据分组丢失引起当前帧质量下降, $d_{p,n}$ 为错误传播引起的质量下降, d_r 为参考视频帧因数据分组丢失引起的质量下降, a_6 、 b_6 、 a_7 、 b_7 为模型参数。

最后得到视频帧的质量为

$$Q_{F,n} = Q_{F,C,n} - d_n \quad (10)$$

其中,

$$d_n = d_{e,n} + d_{p,n} \quad (11)$$

比特流层评价模型允许介入数据分组的视频载荷, 因此可以较准确地预测或获得视频参数及内容特性。其中, 量化参数、编码速率、空域复杂度、时域复杂度是预测视频压缩失真的关键参数, 而压缩失真、数据分组丢失位置、视频帧类型、时域复杂度是预测数据分组丢失对视频质量影响的关键参数。量化参数、编码速率、视频帧类型等参数只需要解码视频帧头信息即可以得到, 而准确获得或预测空域复杂度、时域复杂度、数据分组丢失位置等参数则需要对视频流进行更深入解码甚至完全解码。对视频载荷的深入分析势必增加算法的运算复杂度, 但由于可以借助于多种参数和视频特征信息, 该类模型可以较准确地预测网络视频流的质量。

6 媒体层评价模型

媒体层评价模型利用视频流的解码视频评价其质量, 通常也称为基于像素的评价模型。媒体层评价模型一直是视频质量评估领域的研究热点^[7], 本文只做简单总结和介绍。由于往往无法得到原始参考视频, 全参考的媒体层视频质量评价模型, 如 ITU-T 标准 J.144^[34] 通常不应用于评价网络视频质量。部分参考媒体层模型具有代表性的方法是 NIST NTIA 方法^[10], 主要包括边缘滤波、特征提取、失真掩盖、空间失真联合和时间失真联合等模块。另一类方法是在视频序列中隐性嵌入所需的参考

信息 (如原始水印), 然后在解码端提取可能受到损伤的参考信息 (恢复水印), 比较恢复水印与原始水印的损伤部位和程度, 来预测视频质量下降的程度^[35]。

无参考的媒体层质量评估方法不需要任何参考额外信息, 可以灵活地应用于评价网络视频的场景。此类方法通常根据视频的特征失真预测视频的质量, 如 Philips 提出分别测量震荡效应、方块效应、噪声、钳位、对比度等特征失真, 然后联合各特征失真评价视频的质量^[11]。由于采用不同压缩或处理算法引起的特征失真不同, 因此基于特征失真的方法不具有普遍适用性。

由于视频序列具有强的时间相关性, 相邻视频帧内的静止和平动区域有很强的相似性, 因此利用相邻视频帧作为参考, 提出了一种适用于自然场景视频的无参考质量评估方法^[36]。对于自然场景视频, 其内容通常包括静止的背景区域、平动物体区域和复杂运动物体区域。相邻视频帧中背景区域对应像素值的变化很小, 一般以随机噪声为主。而相邻视频帧中作复杂运动的区域变化明显, 且其变化不可预测。对于相邻图像内的平动区域, 物体的运动也会引起其亮度的变化, 利用压缩恢复视频中的平动物体在相邻帧的对应区域的差别能够很好地反映视频的质量。

综上所述, 媒体层评价模型只根据恢复视频的像素值预测视频质量, 无法使用网络视频流的相关信息, 而从码流中可以获得的信息, 如量化因子可以很好地反映视频的压缩质量, 利用 RTP 头信息中的序列号可以确定遭受数据丢失的视频帧, 结合视频帧的编码类型可以确定受影响的视频帧等。而媒体层评价模型无法准确确定受数据丢失影响的视频帧, 必须采用错误检测算法判断是否受数据丢失影响, 并且该类模型应用于评价网络视频流时需要完全解码, 不适用于实时性要求较高的场合。

7 混合评价模型

混合评价模型允许同时使用恢复视频和比特流信息进行质量评价。图 9 给出了分组层评价模型、比特流层评价模型、媒体层评价模型和混合评价模型评价模型的可使用信息及相互关系, 可以看出混合评价模型允许使用其他模型使用的所有信息, 因此使用其他模型的各种技术, 混合评价模型具有最

优的性能,目前VQEG正在标准化混合评价模型^[4]。

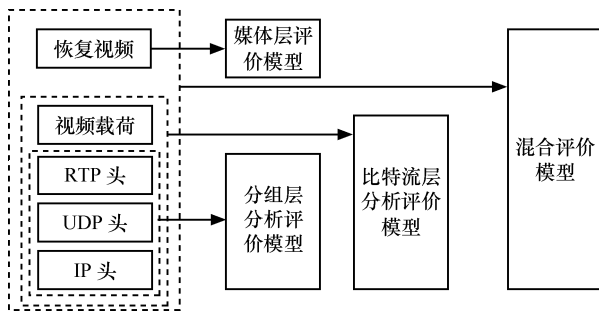


图9 视频流质量评估模型关系

文献[37]提出了一种典型的混合评价模型。该模型首先利用视频序列的量化参数预测视频质量:

$$Q_v = (1/N \times M) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} Q_p(n, m) \quad (12)$$

其中, $Q_p(n, m)$ 表示第 n 个视频帧第 m 个宏块的量化系数。

然后结合人眼的视觉特性,利用视频的特征参数对比度修正初始质量。

文献[38]中的混合评价模型则对平均量化参数、视频时域复杂度、视频空域复杂度进行加权联合预测视频质量。此外,文献[39]首先利用压缩码率预测视频平均质量:

$$Q_{av} = 1 + a_1 - \frac{a_2}{1 + (R/a_3)^{a_4}} \quad (13)$$

然后,利用视频时域复杂度对视频平均质量进行修正得到视频质量:

$$Q_v = Q_{av} + (a_5 + a_6 X) \quad (14)$$

其中, a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 、 a_5 、 a_6 为模型参数, X 反映视频时域复杂度对质量的影响。

混合评价模型可以利用比特流信息和恢复视频信号得到任何信息,如通过分析视频数据分组可以得到量化参数、帧类型、数据分组丢失的具体位置等关键参数,利用恢复视频信号可以准确得到视频的内容特征空域复杂度、时域复杂度等。因此,混合评价模型具有出色的性能,但利用更多信息的同时意味着更为复杂的参数提取或预测过程。混合评价模型的关键技术是如何有效选择参数,以及如何合理组合利用各参数。

8 结束语

网络视频质量评价已经成为网络视频业务发展

的迫切需求,而视频特征信息获取、计算复杂度、实时性要求、以及分组丢失、时延、抖动等网络因素都为有效评价网络视频质量增加了困难。本文介绍了现有各类网络视频质量评价方法。其中,网络参数规划模型根据已知的信道和编码参数从统计角度预测视频业务的质量,由于不考虑特定传输视频流的内容及数据分组丢失的具体位置等特性,其主要用途是网络规划。分组层评价模型只允许介入视频分组的头信息,比特流层评价模型则还允许介入视频载荷信息,这2类模型的关键技术是如何有效地预测或获得视频参数及内容特性,相应的低复杂度优势使之适用于在网络节点监测网络视频流的质量。媒体层评价模型只允许使用恢复视频信息,需要对网络视频流进行全解码,不适用于实时性要求较高的场合。混合评价模型可以利用比特流信息和恢复视频信号等得到的任何信息,可以使用已有其他模型的所有技术,该类模型得到了最优的性能。

参考文献:

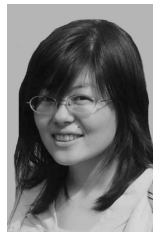
- [1] ITU-T Recommendation G.1070. Opinion Model for Video- Telephony Applications[S]. 2007.
- [2] ITU-T SG12 Temporary Document TD 299. Status report of Question 14/12[R]. 2010.
- [3] ITU-T SG12 Temporary Document TD 297. Updated Draft Terms of Reference for P.NAMS[R]. 2010.
- [4] VQEG Document. Hybrid Perceptual/Bitstream Group TEST PLAN 1.1[R]. 2010.
- [5] FRANKEN L. Quality of Service Management: A Model-Based Approach[D]. Netherlands: University of Twente, 1996.
- [6] ITU-R Recommendation BT.500-11. Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures[S]. 2002.
- [7] WU H R, RAO K R. Digital Video Image Quality and Perceptual Coding[M]. CRC Press, 2006.
- [8] 杨付正. 数字视频客观质量评估方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2005.
YANG F Z. Study on Objective Quality Assessment Method for Digital Video[D]. Xi'an: Xidian University, 2005.
- [9] WANG Z, BOVIK A C. Mean squared error: love it or leave it? - a new look at signal fidelity measures[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26(1): 98-117.
- [10] PINSON M H, WOLF S. A new standardized method for objectively measuring video quality[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2004, 50(3):312-322.
- [11] CAVIEDES J, OBERTI F. No-reference quality metric for degraded and enhanced video[A]. Proceedings of SPIE[C]. Lugano, Switzerland, 2003. 621-632.

- [12] TAKAHASHI A, YOSHINO H, KITAWAKI N. Perceptual QoS assessment technologies for VoIP[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2004, 42(7): 28-34.
- [13] MOHAMED S, RUBINO G. A study of real-time packet video quality using random neural networks[J]. *IEEE Transactions on Circuits System Video Technology*, 2002, 12(12): 1071-1083.
- [14] RAAKE A, GARCIA M N, MOLLER S. T-V-model: parameter-based prediction of IPTV quality[A]. *Proceedings of IEEE ICASSP[C]*. Las Vegas, Nevada, USA, 2008. 1149-1152.
- [15] YAMAGISHI K, HAYASHI T. Opinion model for estimating video quality of videophone services[A]. *Proceedings of IEEE GLOBECOM[C]*. San Francisco, CA, USA, 2006.
- [16] YAMAGISHI K, HAYASHI T. Parametric packet-layer model for monitoring video quality of IPTV services[A]. *Proceedings of the IEEE ICC[C]*. Beijing, China, 2008, 110-114.
- [17] GUSTAFSSON J, HEIKKILA G, PETTERSSON M. Measuring multimedia quality in mobile networks with an objective parametric model[A]. *Proceedings of the International Conference on Image Processing[C]*. San Diego, California, USA, 2008. 405-408.
- [18] ISO/IEC DIS 13818-2. Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information[S]. 1994.
- [19] IETF RFC 1889. RTP: A Transport Protocol for Real-time Applications[S]. 1996.
- [20] IETF RFC 768. User Datagram Protocol[S]. 1980.
- [21] IETF, RFC 791. Internet Protocol[S]. 1981.
- [22] YANG F, SONG J, WAN S. A no-reference quality assessment system for video streaming over RTP[J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 179:243-248.
- [23] ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC14496-10 AVC Standard. Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services[S]. March, 2009.
- [24] YAMADA T, YACHIDA S, SENDA Y. Accurate video-quality estimation without video decoding[A]. *Proceedings of International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing[C]*. Dallas, Texas, USA, 2010, 2426-2429.
- [25] ITU-T SG12 Document 0811-Q14-13. High Level Overview of VQmon/HD algorithm[R]. 2008.
- [26] REIBMAN A R, VAISHAMPAYAN V A, SERMADEVI Y. Quality monitoring of video over a packet network[J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2004, 6(2):327-334.
- [27] KNEE M. A single-ended picture quality measure for MPEG-2[A]. *Proc Int Broad Convention[C]*. 2000.95-100.
- [28] TURAGA D S, CHEN Y, CAVIEDES J. No reference PSNR estimation for compressed pictures[J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2004, 19(2):173-184.
- [29] ICHIGAYA A, KUROZUMI M, HARA N. A method of estimating coding PSNR using quantized DCT coefficients[J]. *IEEE Transactions on Circuits Systems Video Technology*, 2006, 16(2):251-259.
- [30] BRANDAO T, QUELUZ M. P. No-reference image quality assessment based on DCT domain statistics[J]. *Signal Processing*, 2008, 88(4): 822-833.
- [31] VERSCHURE O, FROSSARD P, HAMDI M. User-oriented QoS analysis in MPEG-2 video delivery[J]. *Real-Time Imaging*, 1999, 5(5):305-314.
- [32] WATABABE K, YAMAGISHI K, OKAMOTO J. Proposal of new QoE assessment approach for quality management of IPTV services[A]. *Proceedings of IEEE ICIP[C]*. San Diego, California, USA, 2008. 2060-2063.
- [33] YANG F, WAN S, XIE Q. No-reference quality assessment for networked video via primary analysis of bit-stream[J]. *IEEE Transactions on Circuits Systems Video Technology*, 2010, 20(11):1544-1554.
- [34] ITU-T Rec. J.144. Objective Perceptual Video Quality Measurement Techniques for Digital Cable Television in the Presence of a Full Reference[S]. 2004.
- [35] YANG F, WANG X, CHANG Y. No reference video quality assessment method based on digital watermark[A]. *Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication[C]*. Beijing, China, 2003. 2707-2710.
- [36] YANG F, WAN S, CHANG Y. A novel objective no-reference metric for digital video quality assessment[J]. *IEEE Signal Processing Letters*. 2005, 12(10): 685-689.
- [37] DAVIS A G, BAYART D, HANDS D S. Hybrid no-reference video quality prediction[A]. *Proceedings of the International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting[C]*. Bilbao, Spain, 2009.
- [38] SUGIMOTO O, NAITO S, SAKAZAWA S. Objective perceptual video quality measurement method based on hybrid no reference framework[A]. *Proceedings of the International Conference on Image Processing[C]*. Cairo, Egypt, 2009.
- [39] YAMAGISHI K, KAWANO T, HAYASHI T. Hybrid video-quality-estimation model for IPTV services[A]. *Proceedings of Global Telecommunications Conference[C]*. Hawaii, USA, 2009.

作者简介:



杨付正 (1977-), 男, 山东德州人, 博士, 西安电子科技大学副教授, 主要研究方向为视频压缩和视频质量评估。



万帅 (1979-), 女, 河南洛阳人, 博士, 西北工业大学副教授, 主要研究方向为多媒体通信。