

无线信道视频细粒度可分级编码研究^{*})

王相海

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116029)

(计算机软件新技术国家重点实验室(南京大学) 南京 210093)

摘要 Internet 和无线通讯的迅速发展使得视频的可分级编码技术成为一个重要的研究领域。本文首先对 MPEG-4 修订版中 FGS 的编码机制进行了讨论,然后对无线信道上视频可分级编码技术的发展情况进行了讨论,最后对视频细粒度可分级编码的未来发展趋势进行了展望。

关键词 视频编码,细粒度可分级,运动补偿,无线信道

Research on Wireless Channel Fine Granularity Scalability Video Coding

WANG Xiang-Hai

(College of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract With the development of Internet and wireless communication, the video scalable coding technique has been thought of as the important study field. This paper firstly provides an overview of the fine granularity scalability(FGS) video coding technique in the Amendment of the MPEG-4. In addition, the research progress on fine granularity scalability video coding for wireless channel is analyzed. Finally, the state of arts and possible new directions of FGS are stated.

Keywords Video coding, Fine granularity scalability, Motion compensation, Wireless channel

1 引言

Internet 和无线通讯的迅速发展,使得移动多媒体成为移动通信发展的新热点,特别是第三代移动通信(3G)标准的制定,使得通过无线信道传输视频信息成为可能^[1,2]。然而,无线信道所具有的时变、带宽有限、误码率高等特性以及移动多媒体应用业务的特点对多媒体编码与传输技术提出了新的要求,特别是视频媒体情况。为了在无线信道上实时传输视频数据,并能适应用户的异构性特点,视频编码算法必须满足以下要求^[3]:具有高效的压缩能力,很强的误码容忍能力,可同时支持带宽、码率等多种分级能力和低的算法复杂度。

视频的可分级编码思想在 MPEG-2 中已经有所体现,但 MPEG-2 和 MPEG-4 早期的可分级编码机制通常不能很好地实现解码器端更细粒度的解码,并且对帧内和预测帧差采用传统的分块 DCT 编码所产生的“块效应”往往会使得可分级编码不能取得很好的视觉效果,特别对低码率情况。MPEG-4 在其修订版本中提出了 FGS(Fine Granularity Scalability)的编码机制^[5],该方案突破了传统视频编码方法的局限性,以其编码的高效性和可分级的灵活性而受到关注。近年来,人们对该领域进行了积极的研究,不断完善和改进了所提出的 FGS 编码方案,同时对无线信道环境下的视频细粒度可分级编码技术也进行了积极的研究。本文首先介绍了在 MPEG-4 的修订版中所给出的 FGS 的编解码机制以及它的一些改进算法,然后对无线信道视频细粒度可分级编码的发展情况分类进行讨论,最后对无线信道视频细粒度可分级编码的进一

步发展进行了展望。

2 视频可分级编码的含义

一个视频编码比特流具有可分级性(Scalability)是指利用该比特流的一部分(或子集)可以产生对该视频的一个有用表示的能力,即解码器能够根据分辨率的情况对码流的一部分进行解码。视频的可分级性通常有三种情况:空间分辨率可分级、时间分辨率可分级和质量可分级(或称 SNR 可分级)^[6,7]。空间分辨率可分级是指以不同空间分辨率解码图像的能力(参见图 1);时间分辨率可分级是指视频帧率的更新可以被调整(参见图 2);而质量可分级则是指对一个压缩的码流,用户可根据带宽或系统能力的具体情况在一定范围内按任意比率从码流的开始端来截取相应的一段码流进行解码(参见图 3)。

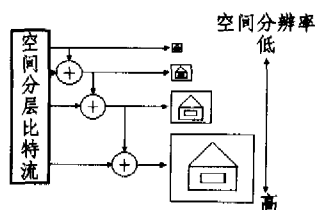


图 1 空间可分级示意图

视频可分级编码机制在 MPEG-2 和早期的 MPEG-4 版本中采用的是基于 DCT 的分层编码模式,即视频流被编码为一个基层和一个增强层,在解码过程中首先解码基层码流,然

^{*})国家自然科学基金项目(60372071)、辽宁省自然科学基金项目(20032105)、辽宁省高等学校优秀人才支持计划和大连市科技基金项目资助。王相海 博士、教授,主要研究领域为多媒体信息处理、多媒体数字水印和计算机图形学。

后根据解码分辨率的情况,通过解码增强层来提高解码精度。上述分层可分级编码技术的一个共同特性是要想使得解码精度得以提高,增强层的码流必须完全解码,否则不会增强解码的质量。MPEG 组织注意到了网络传输对视频编码的新的要求,开始征集精细的可分级视频编码方案,该方案要求将视频编码成一个可以单独解码的基层码流和一个可以在任何地点截断的增强层码流,即实现解码的“连续可分级”。其中基层码流适应最低的网络带宽,而增强层码流用来适应网络带宽变化的动态范围。世界各地的学者提出了许多解决方案,最终 Li Weiping 的 FGS 方案^[8]被选中。

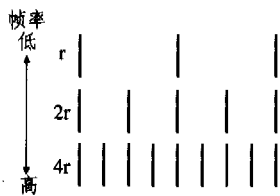


图 2 时间可分级示意图

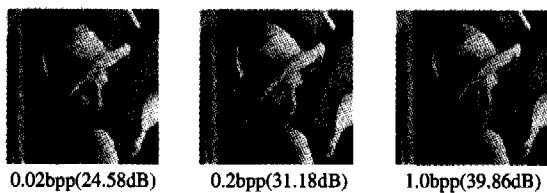


图 3 速率可分级示意图

3 MPEG-4 中 FGS 视频编码

3.1 基本思想

FGS 视频编码的基本思想是将一个视频序列编码为一个基层码流和一个增强层码流,基层采用非可分级编码方式进行编码,其码率作为解码端可分级解码的下界;增强层则采用了基于 DCT 系数的位平面编码机制,对原始图像和重构图像的帧差图像进行编码。

3.2 DCT 系数的 Bit-Plane 编码

FGS 的基层编码与 MPEG-4 中非可分级编码是相同的,而其增强层编码时对参差图像则采用了基于 8×8 分块的 Bit-Plane 编码。Bit-Plane 编码方式是将每一个量化的 DCT 系数看成是一个由若干个 bit 组成的二进制数,对每一个 8×8 的 DCT 块,64 个绝对值系数被沿着“Z”字形的顺序排成一个序列。所谓一个块的 Bit-Plane 是指这 64 个系数的具有相同重要位置的比特位所形成的数组。基于 Bit-Plane 模式的编码是首先从最重要的 bit-plane(MSB) 开始,形成 (RUN, EOP) 符号,其中“RUN”表示一个“1”之前连续“0”的个数,而“EOP”取“0”或“1”则分别表示该 bit-Plane 中自该“1”后没有“1”和存在“1”;然后再对这些 (RUN, EOP) 符号连同其符号位进行变长编码。

3.3 与传统的基于分层的可分级编码的比较

尽管 FGS 编码机制也是将视频序列分为两层,但与传统的可分级编码不同。FGS 增强层可以根据对每一帧的解码精度要求,任意截取其码流,从而实现连续可分级的解码机制。在 MPEG-4 中的 FGS 中,其基层采用的是 MPEG-4 ASP 编解码方案,而增强层则是对原始 DCT 系数与基层粗量化系数之差用 Bit-Planned 的编码方式。由于采用了位平面编码技术,使得每一个系数的较高位,也就是该系数的较重要部分优

先得到编码。这样,在码流截断时可以保证当前所获得的解码信息是重要信息,从而提供了精细可分级的特性。

图 4 是非可分级编码、分层可分级编码和 FGS 编码的效果对比图^[8],其中阶梯形状的曲线对应的是传统的视频编码方法。从图中可以看出,当带宽低于某个固定的码率时,将不能获取任何信息。只有当带宽达到这个固定的码率时,才能获得一定质量的视频信息。而再进一步增加带宽时,视频的质量往往不能得到进一步的改善。连接阶梯形曲线拐点的曲线即是传统的率失真曲线,而率失真曲线下方的“渴望目标”曲线,即为 FNS 方案所能达到的目标。

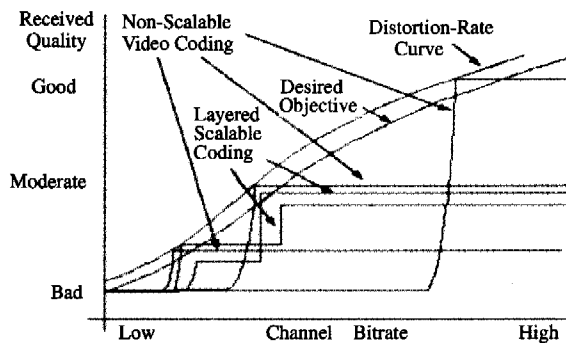


图 4 视频编码效果示意图

3.4 改进算法

前面介绍的 FGS 编码结构的一个主要特点是预测帧中的基层和增强层都是以重构的参考帧中的基层作为预测信息进行预测的。这样,FGS 编码方案对于偶尔的数据丢失或增强层中的数据错误通常具有很好的错误恢复能力。此外,由于利用基层信息来预测增强层,从而使得在码流传输过程中增强层信息的丢失或被侵蚀不会像传统的 SNR 可分级编码方案那样出现误差漂移现象。然而,同样是由于预测总是在基于最低质量的基层上进行,这样对增强层的预测一般不是很准确,形成的 DCT 参差较大,编码效率不是很高,有时甚至比传统的 SNR 可分级方案的编码质量还要糟糕。具体编码性能的比较可参见文^[14]。几年来,人们在 FGS 编码结构的基础上对细粒度的视频可分级编码技术进行了较深入的研究,提出了许多有效的改进算法。比如,为了改进 FGS 的编码效率,微软亚洲研究院的李世鹏和吴枫等人提出了一种渐进的精细可分级编码方案 (PFGS, Progressive Fine Granular Scalable)^[15,16],该方法在保持了 FGS 所具有的细粒度可分级特性、对信道的自适应特性和对错误的可恢复能力的同时,提高了较 FGS 方案 1dB 左右的编码效率^[17]。文^[18,19]提出了基于宏块的渐进细粒度可分级编码方案。所谓基于宏块的渐进细粒度可分级编码是指在上述 PFGS 的运动预测和重建中,在宏块一级选择所使用的参考信息,即每个增强层宏块在运动补偿和重建中使用的参考宏块可灵活地在高质量参考帧和低质量的参考帧间选择,从而给 PFGS 方案带来更大的灵活性,并且能够更好地在消除误差传递和提高编码效率间寻求平衡。在上述基于宏块的 PFGS 方案的基础上,文^[20]给出了一种同时支持时域和精细 SNR 可分级的 PFGST 编码方案,与 PFGS 不同的是在 B 帧的编码过程中每个宏块都可以选择 SNR 可分级的低质量或高质量的参考宏块来进行运动补偿,因而可以获得更好的编码性能。前面所介绍的 PFGS 编码方案中,总是假设基本层能够得到充分的解码,这样对于带宽小于基本层码流的码率的用户而言,PFGS 就不

再具有网络带宽的自适应能力了,为此文[21]中提出了一种精细的空域可分级编码方案(FGSS),它与 PFGS 相比,其基本层码流的码率更低,而与传统的空域可分级编码不同,低分辨率的视频和高分辨率的视频质量可以随码率的增加连续地加以改进。

4 无线信道视频细粒度可分级编码分析

视频的可分级编码,特别是细粒度的视频可分级编码被认为是在无线网络、因特网等异构网络环境中传输视频的首选方案。然而,前面介绍的基本 FGS 和 PFGS 等编码方案直接应用到无线网络上还是会出现一些问题。比如,尽管基本 FGS 对网络带宽的变化具有很好的适应能力,但其编码效率不是很高,并且其可分级功能是以编码复杂度增加、编码效率下降为代价的;PFGS 提高了编码效率,但同时运算复杂度也相应地提高了,给无线终端的处理能力提出了很高的要求。近年来,无线网络的视频 FGS 编码作为前沿技术受到人们的关注^[22]。下面对目前的一些典型算法进行分析和讨论。

4.1 自适应运动补偿细粒度可分级编码

M. van der Schaar 和 H. Radha 在 FGS 结构中以一种自适应的方式增加了预测机制,提出了一种新的自适用于无线视频流的可分级编码框架(AMC-FGS)^[23]。与 FGS 相比,该方案提高了 2dB 的编码效率,并且可以实现在无线信道上对编码效率、终端复杂度和误差恢复等方面很好的折衷。

(1) MC-FGS 结构

M. van der Schaar 和 H. Radha 在文[27]之前提出了一种对基本 FGS 框架的简单扩展方案(MC-FGS)^[24],下面对 MC-FGS 进行分析和讨论。

① 对 B 帧的双环 MC-FGS

算法的基本思想:双环 MC-FGS 框架(参见图 5)在基本 FGS 结构的增强层增加了一个运动补偿(MC)环,该环中使用了相应基层中的运动矢量和预测方式,所产生的帧差图像的编码与基本的 FGS 方案相同。为了避免低码率下的误差漂移,仅仅有一些位平面(比如 2~3 个)被包括在增强层的 MC 环中,并且增强层中的运动预测被限制在 B 帧,从而避免了 I、P 帧受到错误传播的影响。

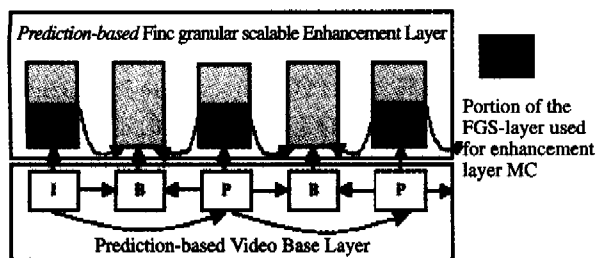


图 5 双环 MC-FGS 的可分级结构

复杂度分析:双环 MC-FGS 结构的基层与基本的 FGS 结构相比没有发生变化;I 帧和 P 帧在增强层中没有任何运动补偿操作,所以其复杂度与基本的 FGS 也是相同的;对于增加的运动补偿环中对 B 帧的运动补偿操作,由于运动矢量已经在基层被解码,这样运动补偿被简化为获取参考数据和添加残差数据,所以所增加的复杂度将低于基层的解码复杂度。进一步,即使解码器没有充分的处理能力来解码增强层中的运动补偿环,使得增强层中的 B 帧(甚至所有的 B 帧)被丢失,也不会影响后继帧。这样,双环 MC-FGS 方案不仅具有

比特率可分级特性,而且具有很好的复杂度可分级性。

讨论:双环 MC-FGS 结构在没有修改基本的 FGS 的基层结构和复杂度的前提下改进了编码效率,并且在低码率下的预测漂移被限制到 B 帧,增强层内的包丢失不会传播到 B 帧以外。但 MC-FGS 也存在一些缺点,比如由于基层保持独立的传输比特率,从而使得编码增益受到限制;此外,由于在增强层增加了一个 MC 环,在一定程度上还是增加了复杂度。

② 对 B 帧的单环 MC-FGS

算法的基本思想:单环 MC-FGS(参见图 6)的基层和增强层用来做基层预测。与双环 MC-FGS 不同,单环 MC-FGS 改变了基层的性能。尽管基本层编码在 MC 环中采用了增强层的信息,但基本层的编解码过程保持不变,而增强层仍采用 FGS 编码机制。单环 MC-FGS 引进了“扩展基本层”的概念,即在基本层中集成了一些增强层中的数据,当带宽下降到不能完全传输这扩展基本层的码率时,被截断的扩展基本层数据将遭受误差漂移的影响,直到下一个 I 帧出现为止。单环 MC-FGS 可以只应用于 B 帧,这可以保证低码率下预测误差不至于飘移到基层的 P 帧以外。

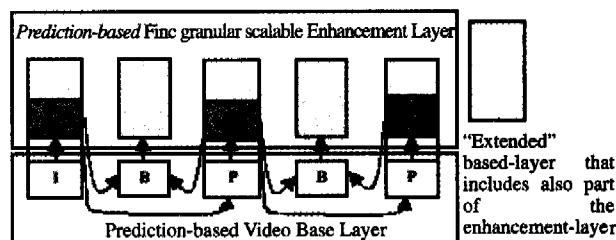


图 6 单环 MC-FGS 的可分级结构

复杂度分析:对于单环 MC-FGS,仅仅一些逻辑“与”操作被增加在基本 FGS 的编码器和解码器中,因而具有很低的实现复杂性。如果扩展基本层仅仅被用于 B 帧的预测,由于对 P 帧和 B 帧的预测是不同的,这样在编解码端需要一个额外的帧缓存。

讨论:由于在单环 MC-FGS 结构中修改了基层的性能,这样当传输数率高于扩展基本层数率时,具有很高的编码效率,并且具有较低的复杂度。但当传输数率低于扩展基本层数率时,通常会产生预测误差的漂移。此外,增强层包的丢失可能会影响到基层的性能。

(2) AMC-FGS

基本思想:前面介绍的基本 FGS 结构以及两个 MC-FGS 结构的编码效率往往要依赖视频序列的特性、网络的特性和设备的性能。AMC-FGS^[23]提出了一种根据无线网络带宽变化或设备性能自适应的选择上述三种编码结构的编码机制(参见图 7),其中 TCC 表示对相继的 FGS 帧间时间相关性的度量,Th 是 TCC 的阈值(有关 TCC 和 Th 的确定可参见文[23]的附录)。如果 TCC 小于 Th,则可以从可视质量的角度确定采用基本的 FGS 结构进行编码(此时可充分利用基本 FGS 结构所具有的低复杂度、高可分级性以及包丢失恢复等特性)。否则,对于具有高时间相关性的相继帧则可根据带宽的变化来决定采用单环 MC-FGS 结构还是双环 MC-FGS 结构(图 7 中 R_{min} 和 R_{th} 分别为信道的最小比特率和基本层比特率, B_{th} 是阈值)。

讨论:AMC-FGS 过程在每个 GOP 内可以实现自适应,并且对于更加复杂的接收器,两环 MC-FGS 也可以用前面介绍的 PFGS 结构来替代。此外,所提出的方案也可以用于诸

如图[20]基于宏块的可分级编码结构中。

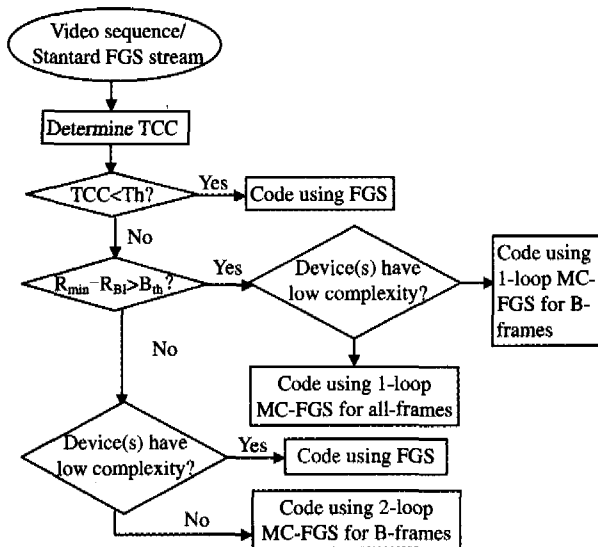


图7 AMC-FGS中选择各种FGS结构的结构图

AMC-FGS结构除了能够适应带宽的变化、具有对无线信道包丢失的鲁棒性和各种移动设备的复杂度可分级性外,对无线传输还具有可以实现自适应的QoS管理、分级的代理缓存策略和自适应的信道分配等特点,具体讨论见文[24]。

4.2 鲁棒性的细粒度可分级编码(RFGS)

H. -C. Huang 等人在文[25]中提出一种新的鲁棒性的细粒度可分级编码方案(RFGS),该方案利用漏预测(Leaky Prediction)技术^[26]在预测质量和误差鲁棒性之间寻找一个折衷。

(1) 基本思想

RFGS也具有两个预测环(参见图8),即基本层和增强层。基层循环同样采用非可分级的编码方法,增强层循环则结合基层和部分增强层信息,通过自适应选择位平面数量 β 来确定参考帧图像的质量。当参考帧的位平面数量 β 增加时,预测质量将得到提高;而另一方面,如果用于参考帧的所有位平面不能有效地传输到解码端,则重构误差将发生累计和传播,这样参数 β 则应该在编码效率和误差鲁棒性之间寻找一个平衡;此外,结合漏预测技术,最初的位平面数 β 通过漏因子 α ($0 \leq \alpha \leq 1$)进行缩放。如果起初的 β 个位平面信息发生丢失,则通过对增强层中的每一帧进行 α 倍缩放来削减误差。由于 α 没有超过1,这样误差的传播可以得到削减。参数 (α, β) 的选取一般与平均比特率、平均位出错率和渴望的视频质量有关,具体讨论参见文[25]。

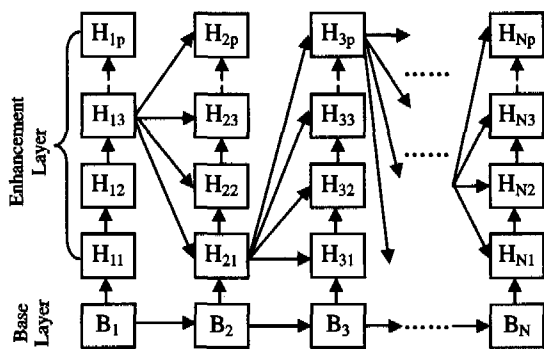


图8 使用RFGS的局部预测结构图

(2) 讨论

RFGS方案提供了一种可灵活地在编码效率、误差鲁棒性和带宽自适应性之间寻找平衡的编码方案,其中采用了漏因子 α ($0 \leq \alpha \leq 1$)。实际上,RFGS可以看成是前面所介绍的FGS方案^[8]、PFGS方案^[16]和MC-FGS方案^[24]等的更一般情况。比如在RFGS中,当漏因子 α 对整个帧序列均取0时,即为FGS情况;而当 α 在参考帧的周期重建中被设置为0时,则对应的是PFGS情况;当 α 对整个帧序列均取1时,则对应的是MC-FGS方案。这样,RFGS提供了一种能取得各种折衷的更加灵活的运动补偿方案。

4.3 其它算法

除了前面介绍的用于无线信道的视频可分级视频编码方案之外,T. P. -C. Chen 等人在文[27]中提出了一种能够自适应大范围的带宽波动和包丢失率的FGRS(Fine-grained rate shaping)技术,该方案首先对视频信息进行FGS编码,并对其增强层进一步采用FEC(向前纠错)编码,在此基础上通过使用基于超平面和步进跟踪的两阶段的率失真优化编码模式有效地提高了编码效率;H. Man 等人提出了一种能够在高压压缩效率和信道误差恢复能力间达到一个很好平衡的三维子带技术^[28],该技术采用了一种基于四叉树和自适应矢量量化的简单编码结构,在没有采用传统的运动补偿预测方法的前提下,取得了高压压缩比下很好的编码效率。该方法还通过将压缩数据流分为带有不同误差敏感级别的各个子流,使得编码方案可根据噪音统计和误差保护协议对不同的信道模型具有很好的自适应特性;此外,T. Stockhammer 等人提出了一种适应于无线渐进视频传输的反馈和错误保护策略,并给出了一个有效的细粒度可分级视频编码方案PTVC(Progressive texture video codec),该方案的开环编码器允许通过利用解码器的反馈信息来适当地调整参考帧,具体讨论参见文[29]。

5 展望

尽管过去几年已经出现了许多有效的视频精细粒度可分级编码方案,但综合前面的分析和讨论,我们认为未来除了进一步完善已有的细粒度可分级编码技术外,这种编码技术将会在以下方面得到进一步的发展:

(1) 无线信道环境下,低能耗、高容错性的视频可分级编码技术。

在无线信道通信中,除了用可分级编码来适应网络状态的动态变化外,有限地移动终端电池能量和信道的高误码率所造成的影响必须予以考虑。随着无线信道嵌入式系统的应用,这方面的工作将成为一个研究热点。

(2) 面向对象的无线信道视频细粒度可分级编码技术。

在JPEG2000中提出了基于ROI的图像可分级编码机制^[11],而基于对象的视频可分级编码方面的研究还很少。这一方面是由于视频对象的自动化分割没有标准,如何建立对象的模型是有待研究的问题;另一方面,适应于无线信道细粒度可分级编码的视频对象的运动估计也是一个难解的问题。但基于对象的视频细粒度可分级编码作为与MPEG-4相适应的编码技术,具有重要的理论研究价值和实际应用背景。

(3) 无线信道的空间和质量混合细粒度可分级编码技术。

所谓空间和质量混合细粒度可分级是指在空间细粒度可分级确定前提下的数率细粒度可分级,或在数率细粒度可分级确定前提下的空间细粒度可分级。无线信道应用的发展将对视频的可分级编码技术提出更高的要求,相信这种混合的细粒度可分级技术一定会得到很好的发展。

参考文献

- 1 曹淑敏. 第三代移动通信的概念及发展. <http://www.knowsky.com/12310.html>
 - 2 潘毅, 龚建荣. 用于3G无线网络的精细可分级编码技术. <http://www.mc21st.com/techfield/design/art/2004/d0528-34.htm>
 - 3 卓力, 沈兰荪, 张晓玲. 无线视频编码技术的发展. 测控技术, 2003, 22(5): 1~4
 - 4 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Overview of the MPEG-4 standard. N3536, Beijing, 2000, 7
 - 5 ISO/IEC 14496-2/ PDAM4. Coding of Audio-Visual Objects. Part-2 Visual, Amendment 4; Streaming Video Profile, 2000, 7
 - 6 Sikora T. MPEG digital video-coding standards. IEEE Signal Processing Magazine, 1997, 14(5): 82~110
 - 7 王相海. 基于小波的图像和视频可分级编码研究: [南京大学博士后研究报告]. 2001
 - 8 Li W. Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(3): 301~317
 - 9 Jiang H, Thayer G M. Using frequency weighting in FGS bit-plane coding for natural video. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG99/M5489, 1999, 12
 - 10 Li W. Frequency weighting for FGS. ISO/IEC JTC1/ SC29/WG11, MPEG99/M5589, 1999, 12
 - 11 王相海, 张福炎. 静态图像编码研究进展. 计算机研究与发展, 2001, 38(11): 1315~1326
 - 12 Yan R, Wu F, Li S, et al. Error resilience methods in the FGS enhancement bitstream. ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG00/M6207, July 2000
 - 13 van der Schaar M, Radha H, Chen Y. An all FGS solution for hybrid temporal-SNR scalability. ISO/IEC JTC1/ SC29/ WG11, MPEG99/M5552, Dec. 1999
 - 14 Macnicol J, Frater M, Arnold J. Results on fine granularity scalability. Melbourne, Australia, ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG99/m5122, Oct. 1999
 - 15 Li S, Wu F, Zhang Y Q. Study of a new approach to improve FGS video coding efficiency. ISO/IEC JTC1/ SC29/ WG11, MPEG99/M5583, Dec. 1999
 - 16 Wu F, Li S, Zhang Y Q. A framework for efficient progressive fine granularity scalable video coding. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(3): 332~344
 - 17 Li S, Wu F, Zhang Y Q. Experimental results with progressive fine granularity scalable (PFGS) coding. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG99/ M5742, 2000
 - 18 Sun X, Wu F, Li S, et al. Macroblock-based progressive fine granularity scalable video coding. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Tokyo, August, 2001
 - 19 孙晓艳, 高文, 吴枫, 等. 基于宏块的渐进、精细可伸缩的视频编码. 软件学报, 2002, 13(11): 2134~2141
 - 20 孙晓艳, 高文, 吴枫, 等. 基于宏块的具有时域和SNR精细可伸缩的视频编码. 计算机学报, 2003, 26(3): 345~352
 - 21 Wang Q, Wu F, Li S, et al. Fine-granularity spatially scalable video coding. In: IEEE International conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Salt Lake City, 2001, 3: 1801~1804
 - 22 Chen C W, Lagendijk R I, Reibman A R, et al. Introduction to the special issue on wireless communication. IEEE Transactions in Circuits and Systems for Video Technology. 2002, 12(6): 357~359
 - 23 van der Schaar M, Radha H. Adaptive motion-compensation Fine-Granular-Scalability (AMC-FGS) for wireless video. IEEE Trans on Circuits for Video Technology. 2002, 12(6): 360~371
 - 24 van der Schaar M, Radha H. Motion-compensation based fine-granular scalability. (MC-FGS). ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2000/ M6475, October, 2000
 - 25 Huang H-C, Wang C-N, Chiang T. A robust granularity scalability using trellis-based predictive leak. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(6): 372~385
 - 26 Ghanbari M, Seferidis V. Efficient H. 261-based two-layer video codecs for ATM networks. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 1995, 5: 171~175
 - 27 Chen T P-C, Chen T. Fine-grained rate shaping for video streaming over wireless networks. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Special Issue on Multimedia over IP and Wireless Networks, 2004, 2: 176~191
 - 28 Man H, de Queiroz R L, Smith M J T. Three-dimensional subband coding techniques for wireless video communications. IEEE Trans on Circuits for Video Technology, 2002, 12(6): 386~397
 - 29 Stockhammer T, Jenkac H, Weiß C. Feedback and error protection strategies for wireless progressive video transmission. IEEE Trans. CSVT, 2002, 12(6): 465~482
 - 30 Wang Z, Lu L, Bovik A C. Rate scalable video coding using a foveation-based human visual system model. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, & Signal Processing, 2001, 3: 1785~1789
-
- (上接第10页)
- 19 Wang B, Gupta S K S. On maximizing lifetime of multicast trees in wireless ad hoc networks [C]. In: Proceedings of International Conference On Parallel Processing (ICPP-03), Kaohsiung, Taiwan, China, 2003. 333~340
 - 20 Wieselthier J E, Nguyen G D, Ephremides A. On the construction of energy-efficient broadcast and multicast tree in wireless networks [C]. In: Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies, 2000. 585~594
 - 21 姜海, 叶猛, 等. 一种节省能量的移动 Ad Hoc 网络组播选路协议 [J]. 电路与系统学报, 2002, 7(2): 115~118
 - 22 Das B S M S K, Murthy C S R. A dynamic core based multicast routing protocol for ad hoc wireless networks [C]. In: Proceedings of the 3rd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Lausanne, ACM Press, 2002. 24~35
 - 23 Zhao Yao, Xu Leiming, Shi Meilin. On-demand multicast routing protocol with multipoint relay (odmrp-mpr) in mobile ad-hoc network [C]. In: Proceedings of ICCT2003, ICCT, 2003
 - 24 Dhillon H, Ngo H Q. CQMP: A Mesh-based Multicast Routing Protocol with consolidated Query Packets [C]. In: Proceedings of the IEEE Wireless Communications & Networking Conference (WCNC 2005), New Orleans, 2005
 - 25 Narayanaswamy S, Kawadia V, et al. Power Control in Ad hoc Networks: Theory, Architecture, Algorithm and Implementation of the COMPOW Protocol [C]. In: Proceedings of European Wireless Conference, 2002. 156~162
 - 26 Song Wen-Zhan, Wang Yu, et al. Localized Algorithms for Energy Efficient Topology in Wireless Ad Hoc Networks [C]. In: Proceedings of the MobiHoc 04, Roppongi, ACM press, 2004. 98~108
 - 27 Li Xiang-Yang, Wan Peng-Jun, Wang Yu. Power efficient and sparse spanner for wireless ad hoc networks [C]. In: IEEE Int Conf on Computer Communications and Networks (ICCCN01), 2001. 564~567
 - 28 Bose P, Devroye L, Evans W, et al. On the spanning ratio of Gabriel graphs and beta-skeletons [C]. In: Proceedings of the Latin American Theoretical Infocomatics (LATIN), 2002