

多描述编码技术的新发展

哈力旦·A^{1),2)} 吴成柯¹⁾ 方勇¹⁾

¹⁾(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室图像所,西安 710071)

²⁾(新疆大学电气工程学院,乌鲁木齐 830008)

摘要 随着通信与视频编码技术的发展,通过网络与无线信道传输视频内容成为可能,但在这些应用环境下,视频内容会因为丢包(网络)或信道失效(无线信道)而造成数据丢失。解决信道传输错误的问题可以从信源编码、信道编码及信源信道联合编码3种途径进行改进。如今多描述编码已被证明是克服传输错误,尤其是丢包的一种有效的信源编码方法。为了使人们对多描述编码研究的现状有一概括了解,首先介绍了多描述编码的主要特征;然后分别从信源编码及信道编码的角度归纳了及现有解决丢包问题的主要方法;接下来深入讨论了多描述编码的应用与研究的新进展;最后指出了多描述编码发展的方向。

关键词 多描述 视频编码 无线传输 网络视频

中图分类号: TN919.81 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)03-0275-06

Development of Multiple Description Coding Technology

Halidan · A^{1),2)}, WU Cheng-ke¹⁾, FANG Yong¹⁾

¹⁾(National Key Laboratory on ISN, Xidian University, Xi'an 710071)

²⁾(College of Electric Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830008)

Abstract With the development of communication and video coding technology, it is possible to transport video content via network and wireless channel at present. In these circumstances, with the existence of packet loss (network) and bit errors (wireless channel), video data is corrupted usually. To overcome this, many methods have been proposed. These methods can be classified into three main fields: source coding, channel coding and joint source and channel coding. Multiple description(MD) coding has been proved to be an effective method of source coding to overcome errors (packet loss specially) in channel transport. To make people have a concise knowledge on the multiple description coding, the main features of MD coding are presented. From the views of source coding and channel coding, the main methods used to solve the problem of packet loss are concluded respectively. Additionally, some new advances in the application and research of MD are discussed. Finally, the authors point out the of the future work.

Keywords multiple description, video coding, wireless transport, network video

1 引言

随着当前声音、图像及视频编码技术的发展,通过基于包的网络(如当前广为使用的互联网以及无线信道)来传输多媒体数据的需求越来越大。在这些应用环境下,由于多媒体数据会因为丢包(由于

网络阻塞、路由延迟以及从高容量网络向低容量网络交换等)或信道失效(由于衰落效应和突发错误等)而造成数据丢失,因而在基于包的网络中和在无线信道上视频数据的可靠传输成为人们研究的热点。

近来,多描述编码(multiple description coding, MDC)已被证明是一种行之有效的解决上述问题的

基金项目:国家自然科学基金项目(60272050)

收稿日期:2004-05-31;改回日期:2004-10-18

第一作者简介:哈力旦·A(1959~),女,维吾尔族,新疆大学电气工程学院副教授,1997年获新疆大学学士学位,现在西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室图像研究所从事研究工作。主要研究兴趣为活动图像编码、数字视频处理、计算机汉/维文字处理技术。E-mail: halidan6458@163.com;halidan.a@eyou.com

信源编码技术。多描述问题最早是在1979年由Gersho, Ozarow等人提出来的^[1]。所谓多描述编码就是由一个视频源生成多个码流(称作对视频源的一种“描述”),这些码流分别在独立的信道上传送,而在接收端,则根据被正确传输码流的不同,可选择不同的解码恢复方案,然后只要有任一种描述被正确传送到接收端,那么多描述解码器就可以恢复出一定质量的视频信号;如果有多个描述被正确传输,则视频信号的恢复质量就能得以增强。

2 多描述编码的主要特征

多描述编码主要有以下特点:

(1) 由于每一个描述都有自己的一组编码、解码函数,因此多描述编码可以独立编解码;

(2) 每一个描述都包含一些别的描述所没有的信息,例如,对于两个描述的编码,如果两个描述都接收到了,则解码器可产生高质量的重建信号,如果只接收到一个描述,那么接收端也还可以利用该描述重建信号,但信号的质量比起前者有所下降;

(3) 多描述适合于丢包的环境,例如网络传输,因为对同一对象的多个描述被封装在不同的数据包里,这样当某些数据包丢失时,解码端就可以根据已接收到的数据包来获得一个较差质量的图像,而当接收到的数据包越多时,解码端的重建图像质量越好;

(4) 多描述编码产生的码流具有相同的重要性,这是多描述编码与可伸缩性编码(例如精细可伸缩编码)的最大的区别,对于多描述编码而言,对同一对象的多个描述包,其重要性是一样的,而可伸缩性编码产生的码流则从基本层到增强层重要性递减;

(5) 多描述编码产生的码流具有独立性(这也是多描述编码与可伸缩性编码的重大区别),即,各个码流可以分别被解码,而不需要已知别的码流。

3 现有解决丢包问题的主要方法

丢包问题的解决可以从两方面着手,其中一种方法是在信源编码时通过编码方法加以解决;另一种途径是在传输层予以解决。下面先来看一看在传输层的解决方法,现有传输层解决丢包问题的主要方法包括:自动重传请求(auto retransmission request, ARQ)、采用纠错码进行前向纠错^[2](forward error correction, FEC)以及混合ARQ与

FEC的方法等。以下对这些方法做一简要描述:

3.1 自动重传请求

由于视频传输经常有实时性要求,因此重传机制通常不在考虑之列,但如果数据包的单程时延比最大容许时延小得多,则仍然是一个可以选择的措施,一种常用的重传机制是自动重传请求。通常重传机制的具体实现方式可以是基于源端控制、基于接收端控制,也可以是混合控制,其主要思想是根据包的预定调度播放时间、当前时间、估算的单程时延或往返时延(rounding travel time, RTT)来决定是否重传或请求重传。

对于数据包的单程时延较大的情况,应用自动重传请求的一种有效方法是在最靠近接收端的传输节点上放置一个代理服务器,例如在通过无线蜂窝网来传输视频数据时,就可以在基站安装一个视频传输代理服务器。这里代理服务器的作用是转发,并暂时缓存发送端传来的视频包,然后当接收端检测到有丢包时,解码端向发送端发出的自动重传请求重传信号则不用传给远方的发送端,而直接由附近的代理服务器来重传丢失的包。这样就极大地减小了重传时延,从而达到了实时的目的。

3.2 前向纠错

前向纠错是一种可用于帧间和帧内编码的差错控制机制。这种机制是将部分冗余信息与经过压缩的原始信息一起传送,而在接收端即使在有包丢失的情况下也可以利用此冗余信息来重构原始图像。这种方法只需要增加较少的额外带宽,并只有较小的传输时延,因而是一种较具吸引力的方法。前向纠错对丢失包的恢复能力取决于网络的包丢失统计特性,即如果丢失的数据包均匀分布在一个大的包序列空间内,前向纠错的效果比较好;而当包丢失具有突发性时,则效果较差。对于突发性包丢失的信道,虽可以采用交织的方法,但该方法具有较大的时延,难以满足实时传输的要求。

下面来看一看在信源编码层解决丢包问题的主要方法。MPEG-4中的容错技术主要有重同步、数据分组(data partitioning, DP)、反向可解变长码(reversible variable length code, RVLC)等,但这些方法对于丢包而言并不都适用(例如重同步和RVLC都适用于随机错误的无线信道,而不适用于丢包的网路环境)。据研究,对于丢包而言,较好的信源编码方法主要有数据分组(Data Partitioning)、多描述编码和可伸缩性编码。此外对于解码端而言,在丢

包已经发生的情况下,可以采用错误掩蔽^[3,4]的方法来减小丢包造成的影响,以提高重建的信号质量。

3.3 数据分组

数据分组的方法是利用码流中不同部分重要性不同的特点来将码流中不同重要性的部分分开分别打包,并运用不等错误保护(unequal error protection, UEP)的编码方法来对不同重要性的包给予不同程度的差错保护,例如,一般来说,图像编码的码流中的运动矢量对重建图像质量的贡献要大于离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)系数的贡献,因而可以将运动矢量与DCT系数区分开来分别打包,并给予不同程度的差错保护。

3.4 可伸缩编码

可伸缩编码是将编码的码流分为基本层和若干增强层分别进行编码,其中基本层满足最基本的要求,而且越多的增强层将使解码端重建信号的质量越好。一种较好的可伸缩编码方法是精细可伸缩编码(fine granular scalability, FGS)。FGS的基本层编码与普通的视频编码是一样的,而增强层则采用了比特平面的编码方法。FGS编码虽取得了较好的可伸缩性,但是由于FGS编码的运动估计补偿是基于基本层进行的,因而运动补偿之后的残差较大,这就降低了编码效率。为了提高FGS编码的效率,人们又提出了渐进精细可伸缩编码(progressive fine granular scalability, PFGS)方法。PFGS编码的运动估计是基于基本层进行,且基本层的运动补偿也基于基本层,而增强层的运动补偿则基于增强层进行。由于增强层的重建质量较好,且增强层的运动补偿残差较小,从而提高了编码效率。

3.5 错误掩蔽

错误掩蔽技术(error concealment)是用于在解码端消除错误的影响,由于图像序列本身具有很强的空间和时间相关性,因此能够使用正确接收到的视频数据来预测丢失的图像数据。由于该过程是在解码端完成的,所以不会引起网络的拥塞和延时问题。错误隐蔽一般采用时间插值和空间插值两种基本方法,其中时间插值是用先前帧的数据来重构丢失数据,其用于外编码帧;而空间插值则用相邻空间的信息来重构,其用于内编码帧。同样,当有多个码块发生差错时,则可用前面的帧代替当前帧(帧替代);当某一个码块发生差错时,则可用前面一帧相同位置的码块来代替(块替代),也可由运动矢量所指向的前面一帧的码块来代替。

4 应用与研究的新进展

在已有工作的基础上,学者们对多描述编码进行了深入研究,已研究出了一些更好的算法,并在实际视频传输中获得广泛的应用。

(1) Ozarow与El Gamal分别于1980年与1982年在纯信息论的范畴内,研究了多描述编码^[1,5],并通过对不同信源的探讨决定了单信道失真和多信道失真之间关系的率失真上限。El Gamal和Cover给出了失真向量 $[D_0, D_1, D_2]$ 和可达到最小描述速率对 $[R_1, R_2]$ 间的对应关系,其中 R_1 和 R_2 分别表示两个描述的速率, D_0, D_1 和 D_2 分别表示当采用两个描述,而只采用第1个描述或第2个描述来重建信号时产生的失真。Ozarow的研究只对高斯信源进行,并采用平方误差作为失真度量。

(2) Vainishampayan等人在1993年提出了有实际使用价值的多描述标量量化方法(multiple description scalar quantization, MDSQ)^[6]。图1给出了标量量化器的原理图,其中,多描述量化器包括标量量化和编码两部分。该方法是通过将普通量化器输出的系数映射到一对系数上来产生两个描述,并通过调整映射方式,以调整冗余量。该方法已在视频编码领域内得到广泛应用。

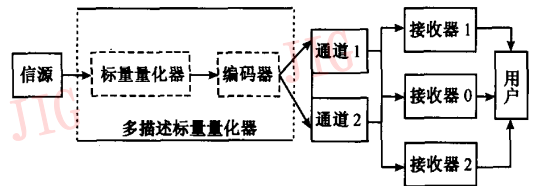


图1 多描述标量量化器原理图

Fig.1 Framework of scalar quantizer of multiple description coding

(3) Wang在1997年提出了成对关联变换(pairwise correlating transform)^[7],其基本思想是将DCT变换的系数两两分组,然后通过一个 2×2 整数-整数之间的线性变换来引入相关性,当其中之一丢失时,则可由另外一个利用引入的相关性来进行估计。这样就可由部分系数恢复出其他系数,以使图像在噪声信道下传输时获得较好的性能,但他们只考虑了两个描述的情形。Wang等人在1998和2001年又将成对关联变换应用于视频编码。

(4) Serretto在1998年提出了基于小波变换的

图像多描述方法^[8]。该方法是采用 MDSQ 方法来量化小波变换系数,并将基于小波变换的图像编码算法与 MDSQ 方法结合起来。对于一给定的图像,首先产生两组码流,然后分别通过两个信道进行传输。当其中有某一信道失效时,则通过另一信道接收到的码流也能保证一个最低要求的图像质量;而当两个信道的码流都成功接收到时,就能获得一个更好的图像质量。此外,该算法还提出了一个离散最优化的问题,并给出了求得编码器参数最优解的现实可行的方法。

(5) Goyal 在 1998 年分析了图像多描述方法的一般化框架^[9],并提出了以下该框架的两种应用:第 1 种应用在编码端产生统计相关的多组码流(如图 2 所示),这样在部分码流丢失的情况下,解码器也能根据接收到的码流在一定程度上估计出丢失的码流;另一种应用在对图像量化编码之前,使用了类似于分组信道编码的量化帧展开的技术。

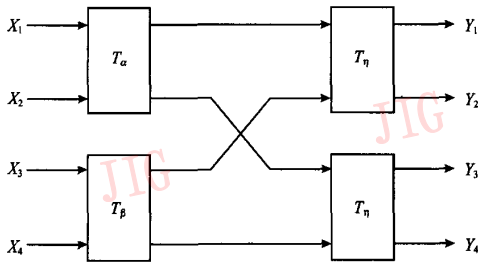


图 2 多信道的重叠结构 GMDC 原理图

Fig. 2 Diagram of overlapped GMDC in multi-channel

(6) Jiang 和 Qrtega 在 1999 年提出多相变换和选择量化算法^[10],即首先按标号和矢量的方式对信号进行下采样,然后通过选取不同相位的采样点产生多个子信号,以形成多个描述,从而实现了平衡的多描述编码(balance multiple description coding, BMDC)。该算法所产生的多个描述具有大致相同速率、重要性和较小的计算复杂度,其不仅在冗余较小时具有良好的效果,而且在冗余度较小时具有速率-失真特性优于 MDSQ 方法等优点。

(7) Kim 在 2000 年提出了一种更为复杂的基于运动矢量场的方法^[11],该方法是通过对角子分(quincunx subsampling)块基运动矢量场来形成对场的两个描述,并采用重叠运动补偿^[12]来构造补偿图像。

(8) Nuray 等在 2001 年提出了一种针对无线信道传输的多描述编码方法^[13]。该方法在考虑了多

描述在多天线衰落信道通信中的应用(图 3)的基础上,提出了乘性信道的多描述传输的模型(图 4),并研究了多描述在各种不同的无线信道(如瑞利信道等)中的应用。该方法还讨论了在无线信道中的多描述最佳相关变换的问题。

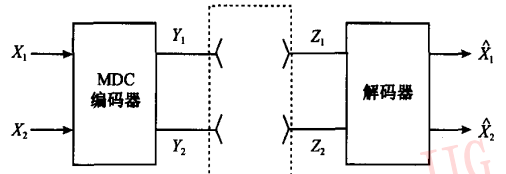


图 3 多天线衰落信道的多描述编码

Fig. 3 Multiple description coding in multi-antenna fading channel

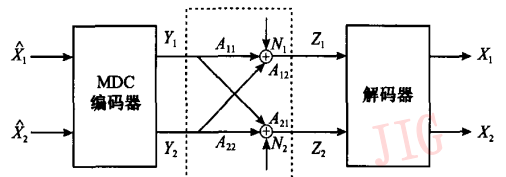


图 4 乘性信道的多描述编码

Fig. 4 Multiple description coding in multiplying channel

(9) Reibman 等在 2002 年提出了一种使用运动补偿时间预测的多描述方法^[14]。该方法在编码端使用了 3 个不同的预测路径来模拟解码端可能发生的 3 种情况,即两个信道的码流都收到的情况及只有一个信道的码流收到的情况(不同的信道有不同的预测路径,通过不同的信道来收到码流视为不同的情况)。该方法提出了 3 种不同的算法用来控制编解码端的预测环路的失配。

(10) 蔡灿辉在 2002 年研究并提出了基于非零系数分解的多描述编码^[15],即首先把每个非零系数分割为奇数位系数和偶数位系数,然后将这两类系数组成两个子信号,并形成两个描述的编码数据通过不同的信道传输。当一个描述丢失时,可利用另一描述中的主编码和冗余编码来重建图像。这样借助于两个子信号间的结构一致性,不仅降低了冗余编码的码率,而且提高了编码性能。实验表明,文献[15]提出的多描述编码效果优于多相变换与选择量化多描述编码。该文还用常用的 512×512 大小的 8 位 Lena 灰度图像等对算法进行了测试,结果如图 5 所示,从图 5 中可以看出,当其中一个描述丢失后还可以获得比较满意的重建效果。



(a) 两个描述都存在时的重建图像

(b) 描述 2 丢失后的重建图像

(c) 描述 1 丢失后的重建图像

图5 Lena 图像基于非零系数分解的平衡多描述编码效果(0.5bpp)

Fig. 5 Results of non-zero efficient decomposition based equalized multiple description coding for Lena image

5 发展方向

如上所述,多描述编码是解决传输中丢包的有效方法。当前,人们一方面不停地提出各种更好的多描述编码的算法,另一方面又将多描述编码与其他的编码方法相结合来进一步地提高传输的可靠性。

一般来说,由于多描述编码生成的码流较使用正常编码方法生成的码流显得要大得多,因此使得多描述编码在传输带宽受限的情况下并不是很适合。为了解决这一问题,人们可以采用类似于不等错误保护的策略,即针对码流中不同部分的重要程度,采用不同的多描述编码方法,如对于码流中较为重要的部分(如运动矢量等)分配较多的比特数,以支持对内容的较多的描述;反之,对于码流中较为不重要的部分,则分配较少的比特数,以给予较少的描述。实践证明,这一策略在一定的带宽限制的情况下提高了接收端的重建图像质量。

数据在传输中(尤其是在无线的传输环境中)不但存在丢包的问题,同时还存在比特误码的问题,其中对于传输中的比特误码,多描述编码并不是一种很好的解决途径,而前向纠错才是解决传输中比特错误的较好方法。为了同时解决传输中丢包与比特误码的问题,一种较好的方法是多描述编码与前向纠错编码结合起来。对于同一视频内容,可生成对应的多个描述,并将不同描述打包在不同的数据包里,然后对数据包进行前向纠错编码。由于对数据包进行了前向纠错编码,因而数据包对传输中的比特错误有一定的抵抗能力,这样也就在接收端

能接收到尽可能多的正确数据包。对视频内容的多个描述,可使得接收端在没有完全接收到对视频内容的全部描述时,也能重建出符合一定质量要求的图像。

除了丢包与比特误码之外,数据包在传输过程中可能面临的其他问题包括传输带宽的时变特性及接收端设备的不同特性,其中传输带宽的时变特性是指不同的拓扑结构造成的网络带宽不同,而且即使同一网络在不同时候的带宽往往也是不定的;另外接收端的设备差别也是很大,不同设备有不同的运算能力与功耗限制,如有的接收处理设备可能是大型计算机,而有些设备则可能是手机等。对于这些问题,多描述编码的效果并不佳。这些问题的一种有效的解决方法是采用可伸缩性编码。与多描述编码相似,可伸缩性编码虽可将同一视频内容编码在多个码流里,但是可伸缩性编码生成的码流的重要程度是不同的,即码流从基本层到增强层重要性递减,并且只有在更低层的所有码流都已正确收到的情况下,更高层的码流才有意义,也才能被正确解码,由此可见,可伸缩性编码的这些特性使得它对于网络带宽的时变特性及接收设备的多样性有着很强的适应能力。可伸缩编码与多描述编码互有优缺点,如多描述编码的主要缺点在于其生成的码流比可伸缩编码生成的码流要大,这是由于对同一视频内容的多个描述之间具有一定的相关性,使得生成的多个码流之间有冗余,从而降低了编码效率;可伸缩编码的主要缺点在于生成的码流之间有依赖性,即更高层码流的解码依赖于较低层的码流,也就是说,只有在所有低层的码流全部正确收到的情况下,高层码流才能被正确解码,这样就造成了带宽的浪

费。为了有效地利用两种方法的优点而克服二者的缺点,一种较好的途径是将两种编码方法结合起来,以便使得由同一视频内容编码生成的多个码流,在保持较高的压缩效率的同时能够被独立解码(避免带宽资源的浪费),这是当前一个很有前景的发展方向。

6 结 语

多描述编码已经被证明是解决网络及无线传输中丢包的一种行之有效的办法,并已经在实践中获得了广泛的应用。随着无线视频传输的日益增多,多描述编码还将获得更加广泛的应用。在今后的应用中,如何有效地解决在无线网络中比特错误与丢包的问题,需要多描述编码与其他多种方法的结合,例如多描述编码与前向纠错编码的结合,多描述编码与可伸缩编码的结合等。

参考文献 (References)

- 1 El Gamal A A, Cover T. Achievable rates for multiple descriptions [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1982, **28**(6): 851 ~ 857.
- 2 Sherwood P G, Zeger K. Progressive image coding on noisy channels [A]. In: *Proceedings of Data Compression Conference*. Washington, DS, USA. 1997: 72 ~ 81.
- 3 Zhu Q, Wang Y, Shaw L. Coding and cell-loss recovery in DCT-based packet video[J]. *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, 1993, **3**(3): 248 ~ 258.
- 4 Chen M, Chen L, Weng R. Error Concealment of lost motion vectors with overlapped motion compensation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, 1997, **7**(3): 560 ~ 563.
- 5 Ozarow L. On a source coding problem with two channels and three receivers [J]. *Bell System Technical Journal*, 1980, **59**(10): 1909 ~ 1921.
- 6 Vaishampayan V. Design of multiple description scalar quantizers [J]. *IEEE Transactions on Information Theory*, 1993, **39**(3): 821 ~ 834.
- 7 Wang Y, Orchard M, Vaishampayan V, *et al.* Multiple description coding using pairwise correlating transforms [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, **10**(3): 351 ~ 366.
- 8 Servetto S D, Ramchandran K, Vaishampayan V, *et al.* Multiple description wavelet based image coding [A]. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C]*, Chicago, IL, USA, 1998.
- 9 Goyal V K, Kovacevic J, Aream R, *et al.* Multiple description transform coding of images [A]. In: *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C]*, Chicago, IL, USA. 1998.
- 10 Jiang W, Ortega A. Multiple description coding via polyphase transform and selective quantization [A]. In: *Proceedings of SPIE on Visual Communications Computer and Image Processing [C]*, University of Southern California, USA, 1999, **3653**: 998 ~ 1008.
- 11 Kim C S, Lee S U. Multiple description motion coding algorithm for robust video transmission [A]. In: *Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and System [C]*, Geneva Switzerland, May 2000.
- 12 Orchard M T, Sullivan G J. Overlapped block motion compensation: An estimation theoretic approach [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1994, **3**(5): 693 ~ 699.
- 13 Nuray At, Yucel Altunbasak. Multiple description coding for wireless channels with multiple antennas [J]. *IEEE Transactions on Global Telecommunications*, 2001, **3**(11): 2040 ~ 2044.
- 14 Reibman A R, Jafarkhani H. Multiple description video coding using motion compensated temporal prediction [J]. *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, 2002, **12**(3): 193 ~ 204.
- 15 Cai C H. Research on Multiple description and video transmission on the Internet [Ph. D dissertation] [D]. TianJin: TianJin University, 2002. [蔡灿辉. 多描述编码与互联网视频传输技术的研究 [博士学位论文] [D]. 天津: 天津大学, 2002.]