

基于信道分集技术的多重描述编码方案*

赵娟⁺, 朱光喜

(华中科技大学 电子与信息工程系 宽带无线与多媒体系统研发中心,湖北 武汉 430074)

An Improved Multiple Description Coding Strategy Based on Path Diversity

ZHAO Juan⁺, ZHU Guang-Xi

(Research and Design Center of Broadband Wireless and Multimedia System, Electronics and Information Department, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-27-87543236 ext 88, E-mail: jane.bear@263.net, <http://www.hust.edu.cn>

Zhao J, Zhu GX. An improved multiple description coding strategy based on path diversity. *Journal of Software*, 2006,17(3):371-378. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/371.htm>

Abstract: In this paper, a source coding technique exploiting packet path diversity is presented, which combines the individual benefits of MDC (multiple description coding) and LC (layer coding) for video transmission over wireless networks. Performance comparisons between LC and MDC are discussed at the beginning of this paper. Their advantages and disadvantages are concluded. An improved coding technique named auto-resilient multiple description coding (ARMDC) is then shown for its ability to conjoin the merits and avoid the shortcomings of the above two coding schemes. Under the critical transmission conditions of error-prone wireless channels, ARMDC can make all the received packets useful, not just those consecutive from the first packet. At the same time, it can also process the feature of LC, creating a “base-layer” bit-stream to ensure the basic quality of video. Transmission policy of ARMDC varies with transmission environment and application limits to gain fine video quality. 3G mobile channels are simulated and then streams create by ARMDC, MDR (multiple description with restart) scheme and coding scheme without any LC or MDC are sent over the channels. Experiment results show that the decoded video sequences of ARMDC streams have better performance in R-D curve comparison than the other MDC scheme and also gain best personality effect because of the smooth sequence quality. This out-coming is well adapted to streaming and conversational applications in wireless environment.

Key words: conversational service; packet diversity; multiple description coding; layer coding; auto-resilient multiple description coding

摘要: 针对无线环境中基于信息包信道分集技术的多重描述编码进行了研究.在比较了多重描述编码(multiple description coding,简称 MDC)和分层编码(layer coding,简称 LC)的性能特点并总结了它们各自的优点与不足之后,提出一种能有效结合两者长处的新的编码方法——自动恢复的多重描述编码(auto-resilient multiple description coding,简称 ARMDC)方案.ARMDC 既能够像通常的 MDC 一样使每个成功到达的数据包都提供有效

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60496315 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2002AA119010 (国家高技术研究发展计划(863))

Received 2004-02-09; Accepted 2005-03-10

信息,也能像 LC 一样优先传送某一重要的描述,保证基本的视频质量,且解码端接收到的 ARMD C 码流可以进行周期性的自动恢复,无须等待源端接收到反馈信息后再作出反应.在仿真的 3G 无线信道上分别传送 ARMD C,MDR(multiple description with restart)以及不使用 LC 和 MDC 的码流,比较其各自的错误恢复性能.实验结果显示,使用 ARMD C 的视频流在序列解码后有着更好的 R-D 性能.同时,由于视频序列相邻的帧之间质量较平滑,也获得了更好的主观性能.此研究成果可以应用于无线媒体流业务与无线会话业务中的视频传输系统,对于研究基于易出错时变信道的多媒体传输的同行具有一定的参考价值.

关键词: 会话服务;基于信息包的信道分集;多重描述编码;分层编码;自动恢复的多重描述编码

中图法分类号: TP510 文献标识码: A

Stockhammer 在文献[1]中概述了无线移动网络中进行视频传送服务的要求与限制.h.264/AVC 的规范将主要的无线业务分为 3 类:基于电路交换和包交换的会话(conversational)服务(packet-switched conversational services,简称 PCS)、基于包交换的实时或预编码的媒体流服务(packet-switched streaming services,简称 PSS)以及多媒体信息服务(multimedia messaging services,简称 MMS).这 3 种特定应用的传输要求由各无线服务所需的码率、允许的端到端最大延时、最大延时抖动等性能参数来决定.其中,PSS 和 PCS 对传输有严格的时间要求,尤其是类似于视频电话和视频会议等需要实时视频传输的会话业务,需要尽可能地减小端到端的延时与抖动,避免任何可感知的干扰,以保证音、视频的同步性.此时,传统有线网络中的错误控制技术已不再有效,类似于 ARQ 和重传等无线纠错手段的使用也变得有限.为了抵抗无线信道中大量的突发误码,依赖信源编码所进行的错误恢复就显得尤为重要.

MDC 和 LC 已分别被提出作为在错误不可避免的信道上进行视频传输的源端编码技术^[2,3].两者都将源视频图像编码到两个或两个以上的子码流.对于 LC 而言,首先需要有一个基本层(base layer)以确保基本的图像质量,另外再需要一个或数个增强层来进一步提高图像精细部分的质量.学者们对如何通过 LC 实现码率的可伸缩性进行了广泛的研究,其中 Li 提议的 FGS^[3]和之后改进的 PFGS 可使在误码信道中传输的视频序列获得平滑的解码质量.但无论是哪种方法,LC 仅仅是在 base layer 的信息能够被无误地按序接收和解码之后,才能获得理想的效果,一旦基本层信息丢失,增强层数据即使被接收也完全无用.在这方面,MDC 则不然:多重描述之中的每条独立描述所在的码流都可以保证一定的视频质量,而多个描述可以一起解码出更高质量的图像.然而,现今大部分的 MDC 算法存在着冗余较高的问题,例如在不平衡的 MDC 算法中,两条描述码流中有一条包含的为完全冗余信息.在众多对两者性能进行分析和比较的文献^[4,5]中,学者们多认为:由于 MDC 能有效利用每个到达的信息包,每个描述都能独立保证一定的视频质量,所以在一些有极严格延时限制的应用中,或是在数据传输 RTT 过长甚至于没有反馈信道的情况下,比 LC 更加有优势.一旦网络支持优先传输或支持错误控制,LC 的基本层质量就能够得到保证,增强层也会发挥使图像质量更加精细的作用,而此时,MDC 由于在各描述之间存在较多冗余,性能次之.

现已有学者开始研究如何将两者的长处相结合,相关的研究有文献[6,7]等.文献[6]描述了一个多重描述的分层编码(MDLC)系统,在此系统中,使用一个 MDC 编码器产生两个基本层的描述,然后用编码器中所包含的基本层 MDC 解码器模仿接收端解码的 3 种情况:两条描述都被正确接收到或任意一条描述被接收到.将原始图像与假设接收情况下所获图像之间的差值进行 FGS 编码而成为增强层码流.很显然,此算法对 MDC 和 LC 做了形式上的叠加,结构较为复杂,且在发送端必须对当前信道情况作出预测,以决定使用哪一差值进行增强层编码.在下文中,我们将从另一角度提出一种结合 LC 和 MDC 应用性能优点的新的编码方式,它既能像 MDC 一样使每个独立的描述各自保证一定的图像质量,也能像 LC 一样优先传送某一重要的描述,保证基本的视频质量.值得注意的是,我们的方法与不平衡的 MDC^[8]有着明显的区别,ARMD C 不允许有完全冗余的描述.实验表明,ARMD C 不但能很好地与 H.264/AVC 编/解码器相结合,且使用较少的冗余获得了更高的视频质量,其具体实现方法将在后文中详述.

本文第 1 节介绍 ARMD C 的编/解码框架和具体算法.第 2 节对不同应用环境下 ARMD C 的传输机制进行

分析.我们对 ARMDC 和其他 MDC 方案进行比较实验的数据以及由数据所得的性能比较结果在第 3 节给出.最后是小结.

1 改进的编码策略

自从 1979 年,学者们开始着手研究音频的信道分离编码以来,MDC 理论已经被建立并发展了多年.理论上,MDC 可存在于现今规范视频编码步骤的许多独立环节上,例如运动估计、解相关变换、量化等,但由于实现的复杂性,无法与已有编码规范良好兼容.所以,现今所使用的 MDC 多以易于操作的方式进行编码,比如直接引进全冗余码流^[8]或对源序列进行时域子采样等方法^[9].时域子采样的 MDC 方案简单易行,运用最为广泛.我们的编码方案即由此改进而来.

ARMDC 编码策略如图 1 所示.可以看到,各码流之间存在着重叠(如图 1 中每隔 20 帧重叠一次),解码器正好可以利用这些重叠的冗余进行错误恢复.

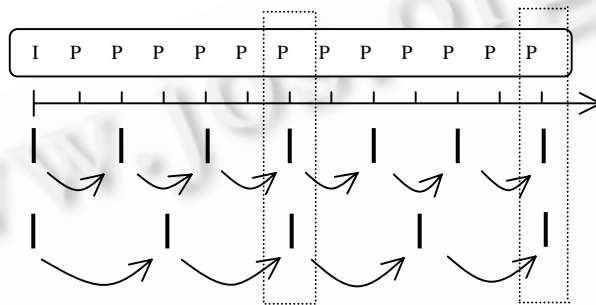


Fig.1 ARMDC encoding strategy for two sub-streams

图 1 两条子码流情况下的 ARMDC 编码策略示意图

图 2 为简化的 ARMDC 编/解码框架(示意最简单的情况:视频信息被编入两个码流).

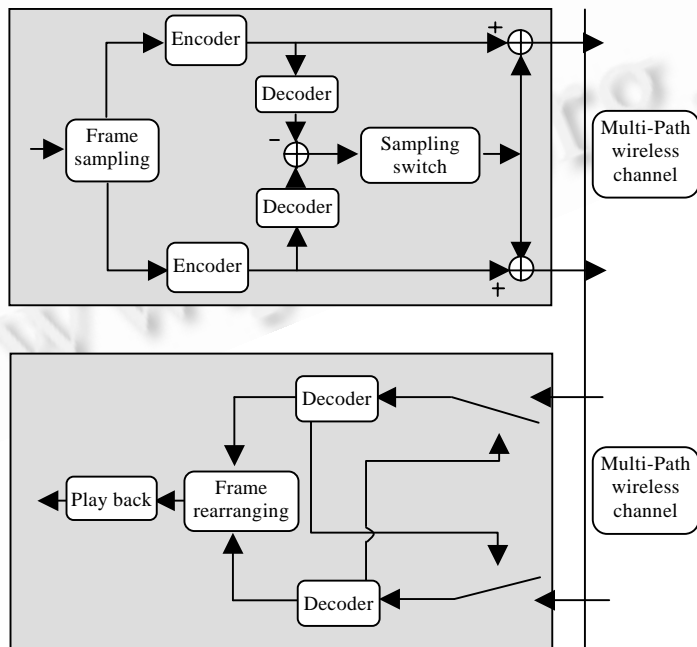


Fig.2 Framework of ARMDC coding and decoding

图 2 ARMDC 编/解码框架示意图

源视频经过时域的子采样后,各个帧被分配到不同的描述码流中去.由于各描述码流的采样间隔互不相同且不呈倍数关系(关于采样间隔的选择见后文叙述),必定会产生周期性的重叠.每个重叠处的两帧图像在发送端分别编码后再解码相减,所得的差值帧使用 FGS 中的位平面编码技术,得到的附加码流加入各描述当前帧数据的末尾.在接收端,如果重叠处任意一个描述码流的帧丢失,都可以从另一描述码流完全无错地恢复,并据此消除后继帧的误码传播.此方式可大大改善被误码干扰的描述码流的质量.下文将详细讨论 ARMDC 的编码器与解码器.

1.1 编码器

执行 ARMDC 的时候,应当谨慎选择每一个描述码流的抽样间隔,使得能在仅有少量冗余的情况下及时地恢复码流质量.设视频被分成 k 个描述码流, R_L 为每个描述码流所需的码率.我们首先讨论最简单的情形,即 $k=2$. 此时,全部描述码流之和等于 R_1+R_2 .假设在不使用任何 MDC 技术的情况下,编码完所有帧所得的平均码率为 R_0 ,两描述码流的抽样间隔分别为 n_1 和 n_2 .忽略附加码流的影响(实验表明这种忽略是可行的),总码流码率可近似等于 $n_1^{-1} + n_2^{-1} \cdot R_0$,全部的冗余码流可近似为 $n_{(1,2)}^{-1} \cdot R_0$,其中 $n_{(1,2)}$ 是 n_1 和 n_2 的最小公倍数.显然, n_1 与 n_2 应当选择互质数对,比如(2,3)(3,4)(4,5).对于任意的 $k, n_1 \leq n_2 \leq \dots \leq n_k$,为了保证码流间存在部分帧的重合,上式中等号不能同时成立.总码率可近似为 $\sum_{i=1}^k n_i^{-1} \cdot R_0$,冗余码率可近似为 $\sum_{i,j=i+1}^k n_{(i,j)}^{-1} \cdot R_0$,其中 $n_{(i,j)}$ 是 n_i 和 n_j 的最小公倍数,且有 $n_i \neq n_j, n_{(i,j)} \neq n_j$.当 $n_i = n_j$ 或 $n_{(i,j)} = n_j$ 的时候,为了避免任意一条描述码流变成完全冗余, i, j 两码流必须完全不重合.从我们的编码策略可以看出,ARMDC 几乎不需要对现有编码器的任一部分进行改造,每一个描述码流都由一个独立操作的编码器得到.

1.2 解码器

在实际实验中,ARMDC 的解码过程参考了 H.264/AVC codec 的许多特性.比如,假定在传送码流到达 ARMDC 解码器之前,所有误码的包都已经被丢弃,此做法可行的具体原因可以查询文献[1].

ARMDC 的解码器主要执行两项任务:减轻丢包带来的影响以及为解码后的帧安排播放时序.当解码器接收到描述码流后,同时也得知有哪些信息因误码被丢失.随后,它便可以利用码流间重复的部分进行视频质量的自动修复——解码另一码流中对应帧和对应的差值,使用叠加后正确的恢复帧替代接收错误帧的位置.由于我们设置的冗余会周期性地出现,完全可以不依赖于信道反馈而在接收端自动地进行错误恢复,及时阻止错误的传播.当然,如果所有的描述码流都丢失,就只有在发送端重新编码 I 帧进行重启动.虽然有这样的情况,但从整体效果而言,ARMDC 仍然会带来较好的图像质量.无论在任何时候,一旦发送端获得反馈信息,就可以立即得知解码器当前的工作情况和解码图像质量,也可以根据接收端错误恢复的效果而进一步调整编码策略.

解码器的另一项工作是将不同描述码流中解码出来的帧进行重排,如图 3 所示.

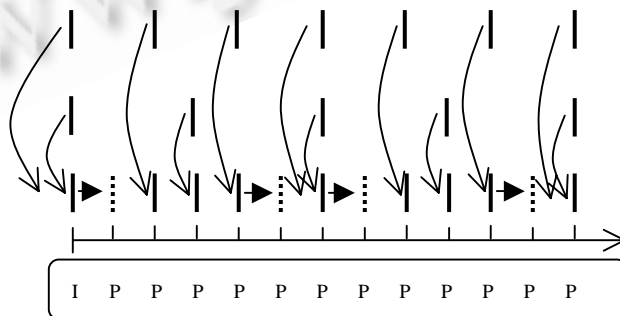


Fig.3 ARMDC decoding strategy
图 3 ARMDC 解码策略示意图

如果一帧被两个以上的描述编入码流,便选取质量最好的重建图像进行播放;另一方面,如果一帧没有被任何描述编码,它的播放位置由最近的解码正确的帧所替代。

2 传输策略

已有的许多研究^[10,11]表明,在两终端之间有另一条可选路径性能优于用于传输的缺省路径的情况占30%~80%,这一事实为多径传输提供了理论依据.特别是在无线环境中,基于信息包的信道分集(packet diversity)技术的应用大大提高了数据的接收质量(基于包传输的信道分集即使用多个信道同时进行数据包传输的策略).在文献[12,13]中,基于信息包传输的信道分集更被用来与MDC相结合,以防止因大量突发错误而造成的信息全部丢失.对于一般的MDC而言,多重描述正好利用了互连网络中各路径性能平等随机的特点,由ARMDC所得的各码流完全可以无优先滞后差异地获得任一可传输路径,而无须传输策略.但由于ARMDC兼具了LC的特点,为其最重要的码流选择一条最佳路径是提高接收质量的良好方法,所以我们随后将讨论适用于ARMDC的不平等保护的传输策略。

目前,有两种不平等保护的传输技术很好地运用了信道分集的性质以达到提高接收质量的目的——基于信道反馈的传输策略和基于RD优化的传输策略,它们分别适合于不同的应用环境.ARMDC在不同的应用中选择不同的传输技术与之相结合,以充分发挥其优势。

在流媒体服务中,只要缓存区足够大,就可以允许一定的延时和重传,基于信道反馈的技术在这里能够得到较充分的发挥.假设有 k 条描述码流($n_1 \leq n_2 \leq \dots \leq n_k$)和 J 个信道用于传输码流.我们可以主动地获得信道状况的反馈信息——每隔 q 个时间间隔发送探测信道性能的包以获得反馈,也可以经由传送信息包的反馈被动地获得信道状况.当第1组反馈信息被接收到之后,开始向信道传送码流.设被反馈信息标示为性能良好的信道数为 J_G ,如果 $J_G \geq k$,可简单地将每一条码流分配到任意不重复的信道上;如果 $0 \leq J_G \leq k$,将采样间隔较小的描述码流分配到性能更好的信道.如此,可以为最重要的描述码流提供最优的传输环境.解码端序列的基本解码质量也能够得到保证.已经正确接收的码流还可以对其他码流进行纠错,其具体效果可见仿真与实验部分.另外,文献[4,10]中已经讨论了如何使用R-D优化的框架来进行媒体流传输.假设在一个多媒体对话(multimedia session)期间,对于所有描述码流的共 L 个需要传输数据的单元,有传输策略矢量 $\mathbf{I}=(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_L)$.率失真优化的目的在此处为选出适当的 \mathbf{I} 值,使得在 λ 取定值的情况下, $D(\mathbf{I})+\lambda R(\mathbf{I})$ 能够得到最小值.这里的 R 与 D 分别代表期望失真和期望码率,两者的具体含义以及公式的推导过程见文献[4].

在对实时性要求严格的会话业务中,各数据单元没有众多可重传的时间间隔——敏感数据不可能在它们应当被传送的时刻之前进行预传输,但ARMDC的自恢复特性使得它在此类应用中较其他算法更能取得良好的效果.上述两种技术的应用同样也能进一步改善接收质量.在基于反馈的技术中,虽然信道反馈的延时造成其对接收错误的及时回复没有帮助,但反馈回的信道状态信息仍然能够为信道估计做出贡献.另一方面,对于基于RD优化的策略而言,主要目的仍然是使 $D(o)+\lambda R(o)$ 取得最小值.与上面的率失真公式不同,这里, o 为ARMDC的编码模式; R 代表所需的总码率,可用讨论编码器时得出的公式带入; D 表示总的失真,由解码后图像与源图像相比较计算所得的PSNR值代替.为了选择适当的 o 值,源端需要足够数量的各种状况下的无线信道模型集合进行测试,以获得最佳结果。

3 仿真与结果

我们使用JM6.01e版本的H.264/AVC编/解码器以及播放时间为12s的foreman序列,对不平等保护传输策略下的情况进行仿真.将源视频序列编入3组不同的描述码流:第1组使用我们提议的ARMDC方法,采用两重描述码流,帧率分别为7.5pfs和6pfs,两描述码流的具体码流与其帧率成正比,即为5:4,在源序列每20帧处重复一次;第2组使用MDR编码^[9],得到两条码率为1:1的描述码流,码流之间完全没有重复;最后一组不使用任何MDC编码,帧率为15pfs,用来在特定情况下比较视频序列的平滑程度.所有的码流除第1帧外全部编为P帧,并封装入带有RTP头的信息包,各组码流的总码率分别为64k,96k,128k,160k,192k和256k.

仿真 3G 无线信道的依据可见文献[14,15],所选用的信道类型与各信道误码率见表 1.

Table 1 Bit error pattern chosen in experiments

表 1 实验中的误码模式选择

	File name	Bit rate (kbps)	BER	RLC PDU size (bits)	Mobile speed (km/h)
1	Wcdma_64kb_3kph_5e-04.bin	64	5.1e-4	640	3
2	Wcdma_128kb_3kph_5e-04.bin	128	5.0e-4	640	3

为了方便比较性能,我们认为头两组描述码流中都有一条被完全正确接收(被传输策略重点保护的那一条,在第 1 组中是帧率为 7.5pfs 的码流;第 2 组中选择从源视频第 1 帧开始编码的码流);两组中的另外一条码流则通过有误码的实验信道,并在接收端进行错误恢复.第 1 组使用 ARMDC 方法恢复;第 2 组使用与误码帧位置最接近(包括完全正确接收码流当中的帧)的图像帧双向插值以获得恢复后的图像.在第 1 组码流尚未到恢复周期的时候,也可以采用双向插值的错误恢复方法.为使实验操作简便,同时也为了接近无线会话应用的传输环境,我们在传输期间不设置反馈信息,完全由解码端进行误码后的纠错任务.两组码流纠错后所得到的最后图像序列与编码前的源视频进行比较,使用 $PSNR=10\log_{10}(255^2/MSE)$ 来计算其失真率,其中 MSE 为解码帧与源帧间像素值的均方差.

图 4 为第 1 组和第 2 组码流使用不平等保护的传输策略通过误码无线信道所得的 RD 性能比较.横轴代表进行传输的总码率,纵轴为对应码率的平均失真度,所得数据为各码流通过信道测试 50 次之后的平均值.可以看到,由于实验环境中故意不提供及时的信道反馈,MDR 的性能等同于最普通的 MDC.而我们的 ARMDC 策略在同样条件下却能获得较好的 RD 性能——传送相同总码率,质量平均高出约 1.5dB.另外,图中的两条曲线显示出随着总码率的增加,质量却无明显提高的趋势.这是因为丢包率随着数据包长度的增加而提升造成的,对我们的结论没有太大影响.

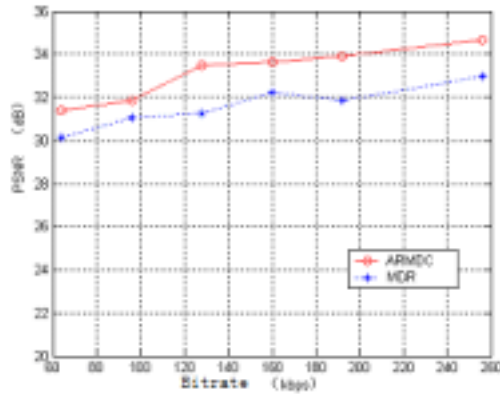


Fig.4 R-D performance comparing

图 4 R-D 性能比较

图 5 是在总码率为 64kbps 的情况下,3 组视频序列通过同样条件的误码信道后,相邻帧之间失真度差值的比较曲线.横轴代表帧数目,纵轴代表当前帧的 PSNR 值与下一帧 PSNR 值之差的绝对值.同样,取多次实验后的平均值(不可以用多次实验后的 PSNR 平均值再求差值进行比较).可以看到,ARMDC 也获得了最为平滑的视频质量,这有利于主观性能的提高.

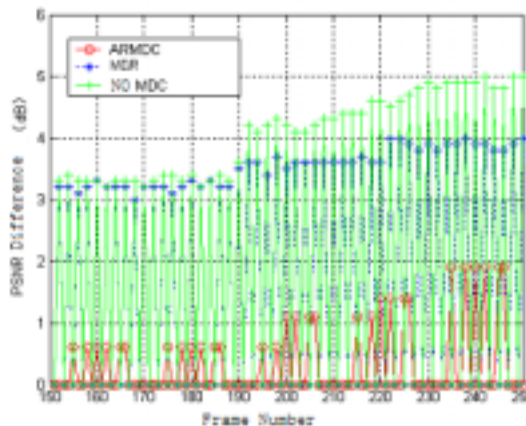


Fig.5 Decoded sequences smoothness comparing
图5 解码后序列的平滑度比较

4 结论与展望

本文介绍了一种改进的基于信道分集技术的 MDC 方法——ARMDC,详细讨论了其编/解码方案及其与传输技术相结合的策略.从文中叙述和实验结果可以看到,ARMDC 较传统 MDC 而言,具有易操作、能和现有的符合规范的编/解码器良好兼容的优点.与其他同样具备易操作优点的 MDC 算法相比(如 UMDC^[8],MDR^[9]),子 ARMDC 结合了多重描述编码(MDC)和分层编码(LC)两者的性能优点,能够在误码较高的环境中得到仍然具有良好 R-D 性能的码流和更平滑的视频质量.

结合 MDC 和 LC 两者性能的研究,仅在近两年见诸文献,但已逐渐成为学者们关注的热点.我们的研究并非像在前文所介绍的 MDLC 方案^[6]那样将两者进行形式上的简单叠加,而是从性能上良好地综合了两者的优点,同时也避免了两者的不足,能够灵活地与各传输策略结合应用.ARMDC 的编码效率仍有待提高,我们将在后继的研究中努力解决此问题.

References:

- [1] Thomas S, Miska MH, Thomas. W. H.264/AVC in wireless environments. *IEEE Trans. on Circuits System Video Technology*, 2003,13,(7):1-28.
- [2] John GA. Error resilient video compression via multiple state streams. In: *Proc. of the Int'l Workshop on Very Low Bitrate Video Coding*. Kyoto, 1999. 168-171.
- [3] Li WP. Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard. *IEEE Trans. on Circuits System Video Technology*, 2001,11(3):301-317.
- [4] Jacob C, Sangeun H, Bernd G. Layered coding vs. multiple descriptions for video streaming over multiple paths. *Springer/ACM Multimedia Systems Journal*, 2003. 422-431.
- [5] Yen-Chi L, Joohee K, Yucl A, Russell MM. Performance comparisons of layered and multiple description coded video streaming over error-prone networks. In: *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Communications*. Anchorage, 2003. 35-39.
- [6] Wang HS, Antonio O. Robust video communication by combining scalability and multiple description coding techniques. In: *Proc. of the SPIE*. San Jose, 2003. 111-124.
- [7] Philip AC, Helen JW, Venkata NP. Layered multiple description coding. In: *Packet Video Workshop*. Nantes, 2003.
- [8] David C, Raghavendra S, Antonio O, Ferran M. Unbalanced multiple description video coding with rate-distortion optimization. *Journal on Applied Signal Processing Special Issue on Multimedia Signal Processing*, 2003. 81-90.
- [9] Eric S, Yi L, Bernd G. Adaptive multiple description video streaming over multiple channels with active probing. In: *Proc. of the ICME 2003*. Baltimore, 2003. 509-512.

[10] Jacob C, Eric S, Yi L, Bernd G. Video streaming with diversity. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Multimedia and Expo. Baltimore, 2003. 9–12.

[11] Roger K, Thomas G. Multi-Path streaming in best-effort networks. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Communications. 2003. 901–907.

[12] Ali CB, Yucel A, Ozlem E. Multi-Path selection for multiple description encoded video streaming. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Communications. Anchorage, 2003. 1583–1589.

[13] Jacob C, Bernd G. Rate-Distortion optimized packet scheduling and routing for media streaming with path diversity. IEEE Data Compression Conf. (DCC). Snowbird, 2003. 203–212.

[14] Göran R, Rickard S, Günther L, Thomas S, Viktor V, Marta K. Common test conditions for RTP/IP over 3GPP/3GPP2. Austin, ITU-T SG16 Doc. VCEG-M77, 2001.

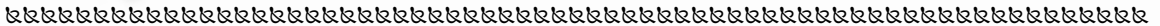
[15] Göran R, Rickard S, Günther L, Thomas S, Viktor V, Marta K. Common test conditions for RTP/IP over 3GPP/3GPP2–Software and amendments. Santa Barbara, ITU-T SG16 Doc. VCEG-N37, 2001.



赵娟(1978 -),女,湖北武汉人,博士.主要研究领域为视频处理,多媒体传输.



朱光喜(1945 -),男,教授,博士生导师,主要研究领域为宽带通信,多媒体信息处理.



全国第 5 次程序设计语言发展与教学学术会议

征文通知

全国第 5 次程序设计语言发展与教学学术会议定于 2006 年 10 月在南京召开, 本次会议由东南大学主办。

一、征文范围 (包括但不限于)

程序设计语言历史、现状与发展;面向对象语言及相关技术;各类建模语言及其设计、实现与应用面向网络应用的程序设计语言;程序设计语言分析、评价与比较程序设计语言语法、语义与语用;程序设计语言教学、教材与课件软件开发过程中各类描述语言;并发、并行与实时程序设计语言;面向网络与 Web 的各类语言;第四代语言与数据库语言;程序设计语言形式化描述技术与方法程序设计语言标准化;其它各种新型程序设计语言 (包括逻辑型语言、函数型语言等);写作语言与工具。

二、来稿要求

1. 本次会议只接受 Email 投稿。
2. 中英文稿均可, 一般不超过 6000 字。为了便于出版论文集, 来稿必须附中英文摘要、关键词、资助基金与主要参考文献, 注明作者及主要联系人姓名、工作单位、详细通信地址 (包括 Email 地址) 与作者简介。稿件要求采用 WORD 或 PDF 格式。

三、联系信息

1. 投稿地址: 东南大学 计算机科学与工程系 周晓宇 (zhouxy@seu.edu.cn)
2. 会务情况: 东南大学 计算机科学与工程系 徐宝文 周晓宇 (zhouxy@seu.edu.cn)

四、重要日期

1. 征文截止日期: 2006 年 4 月 10 日
2. 录用通知发出日期: 2006 年 4 月 25 日
3. 正式论文提交日期: 2006 年 5 月 10 日