

一种针对无线视频传输的帧内宏块更新方法

邱锦波 冯 镔 邓慧萍 喻 莉 朱光喜

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉光电国家实验室(筹) 武汉 400074)

摘要 帧内宏块更新是视频传输中一种重要的错误恢复方法。针对无线视频传输中的错误恢复问题进行分析,并对几种不同的帧内宏块更新方法进行对比,提出一种改进的帧内宏块更新方法。通过分析视频中主要的运动方向,选用不同的帧内宏块更新策略,在保证错误恢复能力的同时,尽量减小帧内宏块在码流中所占的比例。分别采用MPEG-4的AIR方法、随机更新方法、按列更新方法和所提方法对不同的测试序列进行了错误恢复能力的实验。结果表明,所提方法既能保持良好的错误恢复能力,又能降低码率的波动以满足编码与传输实时性的要求,具有良好的主客观效果,同时与现有的各种视频编码标准兼容。

关键词 帧内宏块更新,错误恢复,错误隐藏,无线视频传输

中图分类号 TP37 **文献标识码** A

Intra Macro Block Refresh Approach for Wireless Video Transmission

QIU Jin-bo FENG Bin DENG Hui-ping YU Li ZHU Guang-xi

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract Intra macro block refreshing is an important error resilient approach for video transmission. The error resilient of wireless video transmission was analyzed and several intra macro block refresh methods were compared. After that, an improved macro block refresh approach was proposed. Based on the analysis of the mainly motion direction of the video, the approach chose different intra macro block refresh strategy to decrease the proportion of intra macro block in the frame and maintained the similar error resilient ability. The proposed approach was compared with number of intra macro block refresh methods for the same video frame loss pattern. The experimental results show that the new approach can refresh the decayed video quickly, at the same time increase the coding efficiency. The proposed approach has a good subject and object quality and compatible with all the current video coding standards.

Keywords Intra macro block refreshing, Error resilient, Error concealment, Wireless video transmission

1 引言

由于现有的视频压缩编码标准(如 H. 264, MPEG-4 和 AVS)都采用变长编码技术或者算术编码技术进行熵编码,在消除码流数据之间相关冗余的同时,也降低了码流的抗误码能力。尽管无线网络的发展非常迅速,但是无线网络的动态性和异构性、高的错误率、传输链路的不可预测性、高度压缩的视频码流对传输错误非常敏感等特点,都对无线视频传输的质量产生很大的影响。为了提高无线视频传输的质量,在视频编码端有重同步、数据分隔、RVLC、I 宏块更新等错误恢复方法^[1],在解码端有基于时间、空间、频域等错误隐藏方法^[2]。在传输过程中,有结合视频编码的率失真特性所提出的信源信道联合编码方法^[3]、与无线信道动态资源分配相结合的平等保护方法等^[4],其中重同步方法是一种重要的错

误恢复手段^[5,6]。

尽管重同步能够避免由于同步丢失而丢弃大量的数据,但是在传输中出现错误时,从错误发生点到下一个重同步之间的数据将被丢弃。这部分丢弃的数据只能采用错误隐藏的方法对其进行掩盖。显然这些经过掩盖的数据和原来的数据是不同的,如果不采取一定措施对错误数据进行恢复,下一帧图像的解码将以当前帧错误的解码图像为参考,这时错误的蔓延就不可避免了。因此在发生传输错误的情况下,编解码端参考帧的不同步造成错误的蔓延,即使解码器端使用了错误隐藏也不能阻止重构视频质量的下降。

2 无线视频通信中的错误恢复问题

采用帧内编码模式的帧也就是 I 帧可以不依赖于前一帧而独立解码,因此,为了解决实时无线视频通信中传输错误引

到稿日期:2010-07-10 返修日期:2010-11-11 本文受国家自然科学基金(60873127,60903172),湖北省自然科学基金(2008CDB325,2008CD B329),中芬国际合作项目(S2010GR0445),湖北省研究与开发计划(2009BFA013),华中科技大学自主创新研究基金(M2009016)资助。

邱锦波(1977-),博士,讲师,主要研究方向为多媒体信息处理与多媒体通信,E-mail:qiujb@hust.edu.cn;冯 镔(1978-),博士,副教授,主要研究方向为视频数据挖掘;邓慧萍(1983-),博士生,主要研究方向为视频编码;喻 莉(1970-),教授,博士生导师,主要研究方向为无线多媒体网络;朱光喜(1945-),教授,博士生导师,主要研究方向为无线多媒体通信。

起的视频质量下降的问题,一般采用在视频中周期性地插入 I 帧的方法来阻止错误数据的进一步蔓延。但周期性地插入 I 帧又会带来其他的问题,比如延迟。视频传输过程中的延迟主要包括两个部分:一部分是编码延迟,另一部分是传输延迟。编码延迟主要由于编码器的缓冲引起,由于在编码过程中采用帧内编码模式的帧比采用帧间编码模式的帧其码率要大 5~10 倍,因此对整帧图像进行更新通常会由于信道带宽的局限而增加传输延迟,导致延迟抖动过大,影响视频通信的质量。

H. 264/AVC(MPEG-4/Part10)中所采用的灵活条带技术^[7]可以用来解决延迟抖动的问题。通过将图像划分为不同的条带,每次使得其中一个条带采用帧内编码模式进行编码,将采用帧内模式的码流平均分布到各帧中。但是使用灵活条带技术也有两个缺陷:(1)在 H. 264 的码流中条带是一个可以独立解码的单元,条带的划分切断了一帧图像内部的预测路径,使得编码效率降低;(2)灵活条带工具只在基本档次(Base Profile)中使用,如果使用了灵活条带工具,那么将无法使用 H. 264 中在主要档次(Main Profile)中定义的相对高效的内容自适应二进制算术编码(CABAC),只能使用内容自适应的变长编码(CAVLC)进行熵编码,相对而言其编码效率也会降低。

因此,所采用的错误恢复方法在解决实时无线视频通信中传输错误引起的视频质量下降问题的同时,既要降低码率的波动以满足编码与传输实时性的要求,又要实现与现有的各种视频编码标准兼容,这是我们所研究的目标。

3 几种不同 I 宏块更新方法比较

为了表述方便,本文把采用帧内编码模式的宏块称为 I 宏块,采用帧间编码模式的宏块称为 P 宏块。在易错的信道下进行鲁棒的视频传输,适当对整帧图像或者 P 帧的部分宏块进行 I 宏块更新,是阻止因预测而导致的错误在时域、空域上扩散的有效方法之一。该方法只需要在编码时,通过一定的准则对视频中的某些宏块采用帧内编码模式,以恢复传输中受损的宏块,并不需要切断原有的图像内部预测路径,在保证编码效率的同时兼容现有编码标准。这时,选择哪些宏块作为 I 宏块就成为关注的重点。图 1 为几种不同的 I 宏块更新方法对比。

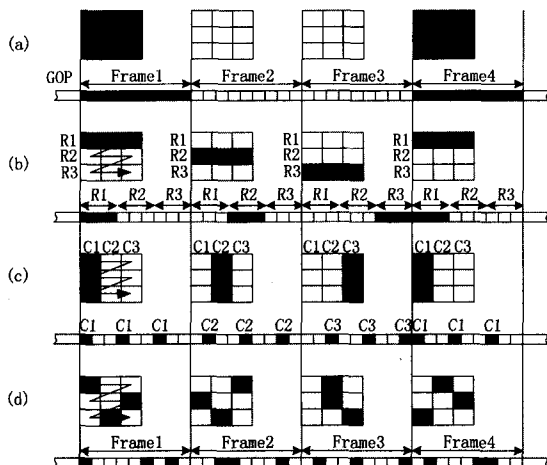


图 1 I 宏块更新方法对比

图 1 (a)为整帧更新方法,I 宏块在码流中的分布非常集

中,无论是对速率控制还是在传输中进行错误控制都是不利的。图 1(b)为按行更新,其 I 宏块在码流中依然是连续的,同样不利于错误控制。图 1(c)为按列更新,图 1(d)为随机更新,I 宏块都能够比较均匀地分布于码流中。按列更新和随机更新方法有以下优点:

- (1)码率较高的 I 宏块均匀地分布在码流中,对速率的波动影响较小。
- (2)重要性较高的 I 宏块均匀分布在码流中,有利于视频打包,在视频包发生丢失时,对质量的影响波动较小。
- (3)均匀分布的 I 宏块能够较快地对丢失部分进行错误恢复。

除了上述几种方法,还有被 MPEG-4 标准采纳的 AIR 方法,它着重对运动较剧烈的区域进行 I 宏块更新^[8]。还有根据率失真优化技术来确定所需要更新 MB 的个数和位置等方法^[9],它们只对某些特定位置进行更新。通过实验发现,由于错误发生的随机性,其效果并不太好,尤其是在丢包率比较大的情况下。

4 双向 PGOP 方法

图 1 中(c)、(d)两种方法都能够使 I 宏块均匀分布于码流中。随机更新方法简单有效,但是效率不高,很多时候仍然有残留的块无法更新;按列更新的方法在某些情况下也有一定的缺陷,如图 2(a)所示为按列更新的示意图,在第 i 帧的第 3 行出现部分数据错误。第 $i+1$ 帧对第 1 列进行更新,第 $i+2$ 帧对第 2 列进行更新,依此类推。在对第 $i+2$ 帧第 1 列进行解码时,如果根据运动矢量所指的方向参考了第 $i+1$ 帧第 2 列的出错数据,将造成第 $i+2$ 帧第 1 列的部分宏块出现错误,并且这些错误将残留在图像中,并继续向下一帧蔓延,直到它们所在的列再次被更新。为了解决这个残留错误的问题,Liang Cheng 等提出一种 PGOP 方法^[10],如图 2 (b)所示。在更新第 j 列宏块时,对其左侧已更新宏块的运动矢量进行分析。如果左侧的某些宏块的运动参考宏块位于第 j 列中,则将它们再次进行更新,这些宏块称为 TB 宏块(Trace Back Macroblock)。PGOP 方法能够无遗漏地更新每一个宏块,无论是一部分数据的丢失还是整帧数据丢失,即使解码端不进行错误隐藏,也可将丢失的数据完全恢复。假设 I 宏块更新的列之间间隔为 Δ ,最多经过 Δ 帧,即可将丢失的数据完全恢复。

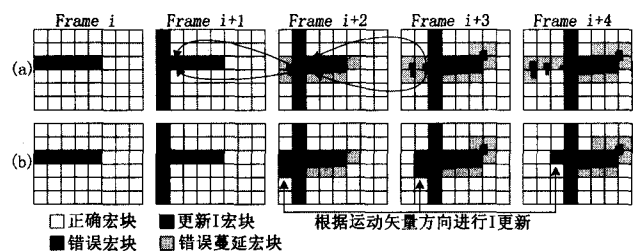


图 2 PGOP 方法

PGOP 方法确实能够有效解决误差蔓延的问题,但是它的缺点也非常明显。该方法只选择了从左向右一个方向进行列更新。如果由于摄像机的平移,视频整体向左移动,已更新列左侧宏块都将参考当前更新列的宏块,那么,PGOP 方法 I 宏块的比例将增加一倍,这将显著降低编码效率。因此提出一种双向 PGOP 方法,根据视频中多数宏块移动的方向来决

定按列更新的方向,以尽可能减小 TB 宏块的比例,来降低 I 宏块更新对编码效率的影响。改进方法的具体步骤如下:

(1)对当前帧的运动矢量进行统计,如果视频向右移动的宏块个数之和大于向左移动的宏块个数之和,那么列更新从左往右进行。反之,列更新从右往左进行。

(2)为了避免在两种方向上频繁切换导致某些列得不到更新,定义一个计数器,每次方向的切换都对该计数器进行复位,每编码一帧则计数器加一。只有在一个方向上计数器的值大于等于 I 宏块更新间隔 Δ 时,才允许方向进行切换。我们对现有典型的测试序列进行了分析和实验,由于视频的相关性,视频的运动在同一方向上持续的时间至少在 10 帧以上,因此这种切换方式并不会给效率带来很大的影响。

(3)根据当前选择的更新方向,再根据运动矢量找出已更新部分宏块中少数参考当前更新区域的宏块即 TB 宏块,使其采用帧内编码模式。这样 TB 宏块的比例将大大降低,在保证错误恢复能力的同时,也大大降低了编码效率的损失。

5 实验结果与分析

为了比较几种不同 I 宏块更新方法的性能,我们对一种极端情况进行了比较。假设传输过程中某一帧图像整帧发生丢失,并且在接收端没有使用错误隐藏,所有丢失部分的数据用 0 覆盖。实验所用为 QCIF Carphone 序列,帧率为 30fps,码率为 256kbps,第 70 帧发生整帧丢失,AIR 和随机更新方法 I 宏块更新率大约为 9%,按列更新和本文方法每次更新一列,即 I 宏块更新间隔 $\Delta=11$,总的 I 宏块更新率也为 9%。图 3 为实验结果。

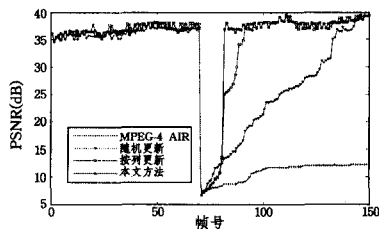
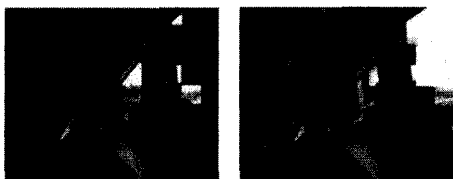


图 3 几种 I 宏块更新方法性能比较

从实验结果可看出,在保持 I 宏块比例基本相同的情况下,MPEG-4 的 AIR 方法和随机更新方法在几十帧以后图像中仍然有残留的错误,AIR 方法仅能够对运动幅度较大的部分进行恢复,而相对运动较小的部分错误一直存在;按列更新的方法在更新过程中,已更新部分由于错误的蔓延,依然有错误存在,并不能实现对错误的无缝覆盖,约 20 帧过后才实现错误的完全恢复;本文方法能够以最快的速度对视频进行恢复,经过 11 帧,视频中的错误已经完全被恢复。经统计,本文方法与按列更新的方法相比,I 宏块的比例仅增加了 1%,但是恢复质量大大提高。几种方法实际恢复效果如图 4 所示,视频在 70 帧处发生了整帧的丢失,该结果为在 81 帧上述几种方法实际恢复结果的对比。



(a) MPEG-4 AIR

(b) 随机更新



(c) 按列更新

(d) 本文方法

图 4 实际恢复结果的对比

本文提出的改进的双向 PGOP 方法保留了 PGOP 方法所有的优点。在错误恢复能力上,双向 PGOP 和 PGOP 方法相当,但是在无错的情况下改进方法提高了编码效率。我们对典型的 Foreman 序列进行了仿真,其中具有很多摄像机来回摆动的情况。图 5 为本文改进方法相对于 PGOP 方法性能改善的实验结果,视频编码的 PSNR 平均提高了约 0.6dB。尤其在大幅度的场景切换时,如图中约第 320 帧的位置,PSNR 的改善非常明显,达到 1.5~2.5dB,从而证明了本文提出的双向 PGOP 方法的有效性。

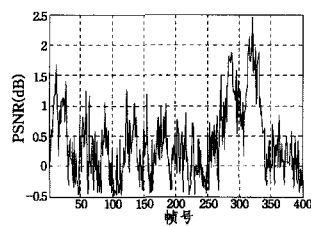


图 5 改进的双向 PGOP 方法性能改善结果

由于在编码端并不知道错误发生的位置,因此只能周期性地进行 I 宏块更新。尽管它能够有效改善视频传输中的错误恢复性能,但它是牺牲视频编码效率为代价的。图 6 中对不进行 I 宏块更新和本文方法的编码端 PSNR 进行对比,测试序列为 Foreman 序列,帧率为 30fps,码率为 256kbps,更新列之间间隔为 5,相当于每个 P 帧中有约 20% 的宏块为 I 宏块,这时 I 宏块更新所带来的质量退化约为 2~3dB。如果在传输过程中存在一个反馈信道,能够由编码端进行错误跟踪或者参考帧选择,编码器能够在错误发生时进行有针对性的 I 宏块更新,避免周期性更新带来的质量退化,那么传输质量还有进一步提高的潜力。

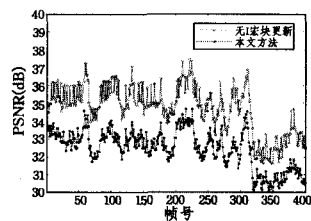


图 6 无 I 宏块更新和本文方法编码效率对比

结束语 针对无线视频传输中的错误恢复问题进行了分析,在对几种不同的帧内宏块更新方法进行对比的基础上提出了一种改进的帧内宏块更新方法。通过分析视频中主要的运动方向,选用不同的帧内宏块更新策略,在保证错误恢复能力的同时,进一步减小了帧内宏块在码流中所占的比例。实验表明,本文方法既能保持良好的错误恢复能力,又能降低码率的波动以满足编码与传输实时性的要求,具有良好的主客观效果,同时与现有的各种视频编码标准兼容,因此可以广泛应用于视频编码与传输系统中。

参考文献

- [1] Wang Yao, Wenger S, Wen Jian-tao, et al. Error resilient video coding techniques[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2000, 17(4):61-82
- [2] Wang Yao, Zhu Qin-fan. Error control and concealment for video communication; a review[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5):974-997
- [3] He Zhi-hai, Cai Jian-fei, Chen Chang-wen. Joint source channel rate-distortion analysis for adaptive mode selection and rate control in wireless video coding[J]. IEEE Transactions on CSVT, 2002, 12(6):511-523
- [4] Ru Cong-chong, Yin Liu-guo, Lu Jian-hua, et al. UEP Video Transmission Based on Dynamic Resource Allocation in MIMO OFDM System[C]//Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC'07). 2007:310-315
- [5] Fang Tao, Chau L-P. Efficient content-based resynchronization approach for wireless video[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, 6(7):1021-1027
- [6] 邱锦波,冯斌,喻莉,等. 基于宏块重要性测度的重同步方法[J]. 计算机科学, 2010, 37(5):81-83
- [7] Lambert P, Neve W D, Dhondt Y, et al. Flexible macroblock ordering in H. 264/AVC [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2006, 17(2):358-375
- [8] MPEG-4 Standard[S]. ISO IEC 14496-2, 2003
- [9] Zhang Rui, Regunathan S L, Rose K. Video Coding with Optimal Inter/Intra-mode Switching for Packet Loss Resilience [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(6):966-976
- [10] Cheng Liang, Zarki M E. Perceptual quality feedback based progressive frame-level refreshing for robust video communication [C]//Proceedings of 2004 IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC'04). 2004:2047-2052

(上接第 83 页)

- [12] Dunbar R I M. Coevolution of neocortical size, group size and language in humans[J]. Behavioral and Brain Sciences, 1993, 16(4):681-735
- [13] Fu F, Chen X, Liu L, et al. Social dilemmas in an online social network; the structure and evolution of cooperation[J]. Physics Letters A, 2007, 371(1/2):58-64
- [14] Milgram S. The small World problem[J]. Psychology Today, 1967, 2:60-67
- [15] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of 'small-world' networks[J]. Nature, 1998, 393:440-442
- [16] Miklas A G, Gollu K, Chan K, et al. Exploiting Social Interactions in Mobile System[C]//Proc. of 9th Intl. Conference on Ubiquitous Computing. Heidelberg: Springer, 2007:409-428
- [17] Chaintreau A, Fraigniaud P, Lebar E. Opportunistic Spatial Gossip over Mobile Social Networks[C]//Proc. of the 1st ACM SIGCOMM Workshop on Social Networks. New York: ACM, 2008:73-78
- [18] Hui P, Crowcroft J, Yoneki E. BUBBLE Rap: Social Based Forwarding in Delay Tolerant Network[C]//Proc. of 9th ACM International Symposium on Mobile Ad-hoc Networking and Computing. New York: ACM, 2008:241-250
- [19] Marti S, Ganesan P, Garcia-Molina H. SPROUT: P2P routing with social networks[C]//Proc. of International Workshop on Peer-to-Peer Computing & DataBases. Heidelberg: Springer, 2004:425-435
- [20] Mislove A, Gummadi K P, Druschel P. Exploiting social networks for Internet search[C]//Proc. of the 5th Workshop on Hot Topics in Networks. 2006
- [21] 郎君, 秦兵, 宋巍, 等. 基于社会网络的人名检索结果重名消解[J]. 计算机学报, 2009, 32(7):1365-1373
- [22] Yu Hai-feng, Gibbons P B, Kaminsky M, et al. SybilLimit: a near-optimal social network defense against Sybil attacks[C]//Proc. of the 2008 IEEE Symposium on Security and Privacy. Picataway, NJ: IEEE, 2007:885-898
- [23] 陈端兵, 万英, 田军伟, 等. 一种基于社会网络分析的 P2P 僵尸网络反制策略[J]. 计算机科学, 2009, 36(6):101-104
- [24] Boykin P O, Roychowdhury V P. Leveraging social networks to fight spam[J]. Computer, 2005, 38(4):61-68
- [25] Lam H Y, Yeung D Y. A Learning Approach to Spam Detection based on Social Networks[C]//Proc. of the Fourth Conference on Email and AntiSpam. Mountain View. California, USA, 2007
- [26] 黄文良, 刘勇, 钟志强, 等. 基于复杂网络的垃圾短信过滤算法[J]. 自动化学报, 2009, 35(7):990-996
- [27] Aharony N, Reed D P, Lippman A. Social Area Networks: Data Networking of the People, by the People, for the People[C]//Proc. of International Conference on Computational Science and Engineering. February. Picataway, NJ: IEEE, 2009:1148-1155

(上接第 95 页)

- [4] Pickands J. Statistical Inference Using Extreme Order Statistics [J]. The Annals of Statistics, 1975, 3:119-131
- [5] Beck C, Cohen E G D. Supertatistics[J]. Physica A, 2003(332): 267-275
- [6] Cohen E G D. Supertatistics[J]. Physica D, 2004(193):35-52
- [7] Beck C, Cohen E G D, Harry L. Swinner from time series to superstatistics[J]. Phys. Rev., 2005, 72:056133
- [8] Mahoney M, Chan P. An analysis of the 1999 Darpa/Lincoln Laboratory Evaluation Data for Network Anomaly Detection[C]//Proceeding of Recent Advances in Intrusion Detection (RAID) Lecture Notes in Computer Science. 2003, 2820:220-237
- [9] Ye N, Chen Q. An Anomaly Detection Technique Based on A ChiSquare Statistic for Detecting Intrusion into Information System, Quality and Reliability Engineering International[J]. 2001, 17:105-112
- [10] Tan K M C, Maxion R A. Determining the Operational Limits of an Anomaly-based Intrusion Detector[J]. IEEE J. Sel. Areas Commun, 2003, 21(1):96-110
- [11] Sommer R, Paxson V. Enhancing Byte-level Network Intrusion Detection Signatures with Context[C]//CCS '03: Proceedings of the 10th ACM Conference on Computer and Communications Security, 2003:262-271
- [12] DARPA 99 Intrusion Detection Data Set Attack Documentation [DB/OL]. <http://www.ll.mit.edu/IST/ideval/docs/1999/attackDB.html>
- [13] He Di, Leung H. Network Intrusion Detection Using CFAR Abrupt-Change Detectors[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, 57:490-497
- [14] Paxson V, Floyd S. Wide Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling[J]. IEEE/ACM Trans. Networking, 1995, 3(3):226-244
- [15] Dupuis D J. Estimating the Probability of Obtaining Nonfeasible Parameter Estimates of the Generalized Pareto Distribution[J]. Journal of Statistical Computation and Simulation, 1996, 54:197-209
- [16] Rasmussen P F. Generalized Probability Weighted Moments: Application to the Generalized Pareto Distribution[J]. Water Resources Research, 2001, 37(6):1745-1751