

H.26L 视频在 WLAN 上的实时编码与传输研究¹

朱小松 陈敏 余英林

(华南理工大学电信学院 广州 510641)

摘要: 该文讨论了视频在 WLAN 上的实时编码和传输问题。首先针对视频编码的特点,提出了一种改进的混合 ARQ/FEC 算法,可有效地改进传输的实时性和可靠性。然后提出了一种依据接收端的反馈信息进行参考帧选择和帧内更新算法,可有效地解决因时间预测编码造成的差错一直向后传播问题,同时可保证编码的高效率。

关键词: 视频编码, 视频传输, 混合 ARQ/FEC, H.26L, WLAN

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)06-0841-05

Study on the Real-Time Coding and Transmission of H.26L Video over WLAN

Zhu Xiao-song Chen Min Yu Ying-lin

(School of Electron. & Info. Eng., South China Univ. of Tech., Guangzhou 510641, China)

Abstract The issue of real-time coding and transmission of video over WLAN is discussed in this paper. First, a modified hybrid ARQ/FEC algorithm, based on the characteristic of video coding, which improves the performance of video transmission, is proposed. To prevent the temporal error propagation, an error resilient video algorithm, with select intact reference frames or intra coding according to the backward channel signaling, is proposed as well.

Key words Video coding, Video transmission, Hybrid ARQ/FEC, H.26L, WLAN

1 引言

随着宽带网络的发展和视频压缩技术的进步,视频的实时传输越来越引起人们的兴趣。无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)由于联网方便、移动性和扩展性好以及费用相对低廉等特点,应用越来越广泛。目前,基于 IEEE 802.11b 的 WLAN 可提供高达 11Mbps 的传输速率^[1],为视频的实时传输提供了可能。

视频在无线信道上的实时传输是个富有挑战性的课题。一个原因是因为位差错和拥塞造成的丢包严重,对采用空间和时间预测及可变长度编码技术为基础的视频编码数据影响巨大;另一个重要原因是时间的限制,视频数据包的传输延迟应足够小,否则,超时到达的数据包对视频解码器将毫无用处。众所周知,IEEE 802.11b 并没有特别关注实时视频业务的 QoS 传输,而是着眼于数据的可靠传输。为减少数据的位差错和包的丢失,MAC(Media Access Control)层中采用了 ARQ(Automatic Repeat reQuest)协议,但 ARQ 会引起传输的巨大延时,同时降低网络的吞吐量。因而,作为数据传输可靠性保障的 ARQ 协议并不是非常适合于视频的实时传输。

由于当前的视频编码标准都采用了基于空间和时间预测的编码方式,传输中出现的差错会在空间和时间上传播,造成接收质量的严重下降。编码时,将一帧分成多个条块(Slice)是减少

¹ 2003-03-19 收到, 2003-06-27 改回

广东省自然科学基金(#011628)、国家自然科学基金(#60372068)资助课题

差错在空间上传播的有效手段, 而减少差错在时间上传播的技术通常是采用 Intra 编码 (帧内更新)^[2]。要有效地阻止差错在时间上的后向传播需要有大量的 Intra 块或 Intra 帧 (I 帧)。而 Intra 编码效率很低, 会产生大量的比特位, 增加传输延时, 当信道差错率很高或网络拥塞严重时, 会造成新的丢包, 影响视频帧的实时传输。

最新的视频编码标准 H.26L^[3] 为尽可能地提高编码质量 (用编码码率和重构图像的失真表示), 采用了多参考帧的方式, 参考帧的数量可在编码前指定。编码每一宏块时, 对应于每一编码模式, 分别以每个参考帧作为运动估计时的参考, 通过编码质量的比较, 找出最佳的参考帧。多参考帧的使用, 为阻止差错向后传播提供了一种非常有效的方法。本文在 H.26L 多参考帧编码的基础上讨论差错发生时参考帧的选择方法。相对于 Intra 编码更新, Inter 编码可保证高压缩比。

目前, 对视频在 WLAN 上的实时传输研究还很少。文献 [4] 讨论了单、多播视频流在 WLAN 上的传输, 为保证视频数据可靠传输, 同时尽量减少延时, 作者提出了一种新的混合 ARQ/FEC (Forward Error Correction) 编码方法: 将视频数据每 k 个包分为一组, 每组加上作为 FEC 的 $n - k$ 个校验包, 然后先发送前 k 个数据包, 接着发送校验包, 在此期间不要求 ARQ, 当接收端在规定期限内接收到 k 个包后, 才向发送端发送 ACK, 否则发送端一直发送校验包, 直到期限结束。该方法的实时性很好, 且在业务不是特别繁忙的情况下, 确能保证数据的可靠传输, 传输效率很高。但文献 [4] 传输的是以文件形式存在的已经编码好了的视频数据, 仅讨论这些数据的实时传输问题, 文中选用固定的 k 值和固定大小的包, 且 k 值和包长均很大。 k 值和包长选得很大可极大程度地减少 ACK 帧的数量, 提高实时性, 但这种方式没有考虑视频编码的特点, 打包时不能保证视频帧、条块或宏块的完整性。当 FEC 解码失败时, 会造成多个视频帧或条块的损坏, 影响视频序列的接收质量。

本文讨论了视频在 WLAN 上的实时编码和传输问题。针对视频编码的特点, 提出了一种改进的混合 ARQ/FEC 编码算法; 依据接收端的反馈信息, 提出了一种参考帧选择和 Intra 编码设置方法。实验表明, 利用我们的算法可较好地保证视频传输的实时性和可靠性, 同时编码效率也很高。

2 改进的混合 ARQ/FEC 编码算法

2.1 擦除信道下的 FEC 技术^[5]

设 $X = \{X_1, \dots, X_i, \dots, X_k\}^T$ 为源数据包向量, 其中 X_i 为第 i 个数据包, G 为 $n \times k$ 生成矩阵, 则 (n, k) 线性码可表示为 $Y = GX$, 其中 $Y = \{Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_n\}^T$ 为编码后的数据包向量。设接收端接收到 Y 中的任意 k 个包, 其接收向量表示为 $Y' = \{Y_{i_1}, \dots, Y_{i_j}, \dots, Y_{i_k}\}^T \subset Y$, 其中下标 i_j 表示接收到的包号, 则有 $Y' = G'X$, 其中 $k \times k$ 矩阵 G' 为 G 的子矩阵, 其行向量由 G 中的第 $i_1, \dots, i_j, \dots, i_k$ 行组成, 对应接收到的包号。若 G' 是可逆的, 则有 $X = G'^{-1}Y'$ 。

G 的一种可能形式是采用单位矩阵扩展的范德蒙矩阵^[5], 其元素为

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & i \leq k, i = j \\ 0, & i \leq k, i \neq j \\ x_i^{j-1}, & i > k \end{cases}$$

其中 x_i 为有限域 $GF(2^8)$ 中的元素, 只要所有的 x_i 不相同, 就可保证 G 中任意的 k 阶子方阵都是可逆的, 而接收到的包号可由包的序列号获得。因此, 只要接收端能接收到 n 个编码包中的任意 k 个包, 都能正确地恢复出原始数据。若接收到的包数少于 k , 其中的数据包仍然有效, 图像的所缺部分可由视频解码器用差错掩盖方式补上。

2.2 改进的混合 ARQ/FEC 编码算法

首先对原始的视频数据进行压缩编码, 每帧分为若干个数据包 (Slice), 有两种分解方式,

一种方式是每帧的包数固定，这样得到的数据包大小不同；另一种方式是按规定字节数打包，由于编码的单位为宏块，这样得到的数据包大小也有微小差别，且每帧的包数不一样。因而每个数据包的包头须含有包长、该帧包数和帧内相对序号等信息。图 1 为 FEC 编码示意图。设某视频帧有 k 个数据包，最大包长为 Max_Packet_Length ，将包长小于 Max_Packet_Length 的包用数据 0 补上，然后进行 FEC 编码，得到 $n - k$ 个 FEC 校验包。接着依次发送数据包和 FEC 校验包，直到接收端接收到 k 个包或到达该帧接收的规定期限。发送数据包时不包含编码时补上的数据 0。若 k 个数据包完全正确接收，则不进行 FEC 解码。但若有数据包丢失，则依据 FEC 包的包长 Max_Packet_Length ，将包长

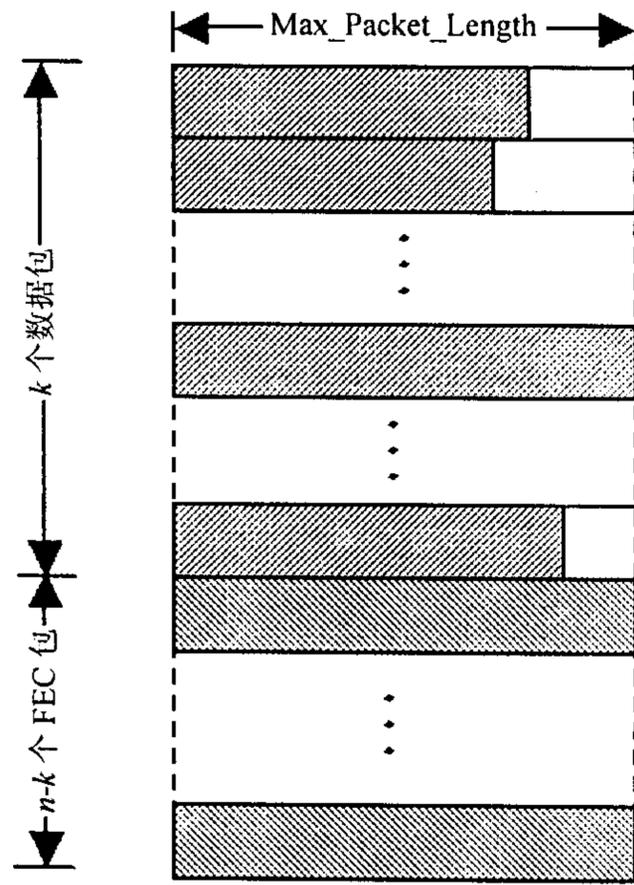


图 1 FEC 编码示意图

小于 Max_Packet_Length 的数据包用数据 0 补上，然后进行 FEC 解码，这样可完全恢复发送的 k 个数据包，同时保证传输的高效率。

在视频帧的规定期限内接收到的包数小于该帧的数据包数，则 FEC 解码不能进行。由于同一视频帧的各个 Slice 相对独立编码，因而接收的数据包仍可传给视频解码器解码。所缺的图像由视频解码器的差错掩盖技术弥补。本文采用 H.26L 解码器所具有的标准差错掩盖技术，可较好恢复丢失的图像。

3 参考帧的选择和 I 帧更新算法

编码器每编码完一帧后，记录该帧所用的参考帧信息。当编码第 n 帧时，编码器收到第 $n - n_b$ 帧的反馈信息，其中 n_b 为反馈信息的延迟帧数。若反馈信息表明有包丢失时，编码器首先将第 $n - n_b$ 帧设置为不可参考帧，然后检查后一帧即第 $n - n_b + 1$ 帧的参考帧信息，若第 $n - n_b$ 帧是第 $n - n_b + 1$ 帧的其中一参考帧，则差错可能已传播至第 $n - n_b + 1$ 帧，因而将第 $n - n_b + 1$ 帧也设置为不可参考帧，以此类推直到当前帧的前一帧。设 Inter 编码时，每帧规定的参考帧数为 n_r ，则编码第 n 帧时，直接以前面 n_r 个帧中的可参考帧作为参考。如所有规定的参考帧都已损坏，则第 n 帧采用 Intra 编码。

图 2 为 n_b 等于 2， n_r 等于 4 时的参考帧选择图。编码第 n 帧时，收到第 $n - 2$ 帧的反馈信息，由于第 $n - 2$ 帧有丢包 (图中以 \times 号表示)，且第 $n - 1$ 帧以第 $n - 2$ 帧作为参考，则将第 $n - 2, n - 1$ 帧均设置为不可参考帧 (Non_Reference_Frame, NRF)，第 n 帧直接以第 $n - 3$ 或第 $n - 4$ 帧作为参考。从图 2 可知，发生于第 $n - 2$ 帧处的差错仅影响第 $n - 1$ 帧，从而有效地阻止了差错的传播。

由于 Intra 编码的帧 (I 帧) 占有大量的数据位，传输时的延时较大，在规定的时间内很可能不能传完全部数据，造成新的丢包，严重影响后继帧的接收效果。为力保 I 帧能正确接收，编码器采用跳帧方式，即跳过下一帧，将跳过帧的传输时间加给当前的 I 帧，保证后继帧能以正确帧作为参考。

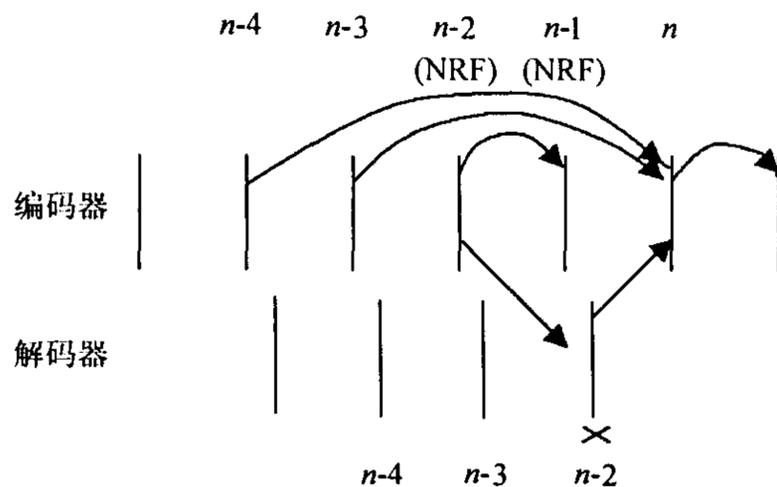


图 2 参考帧选择示意图

图 3 为 I 帧的设置和传输图。其中 n_b 等于 2， n_r 等于 4。当编码第 $n + 2$ 帧时，由于前 4 帧均为不可参考帧，则第 $n + 2$ 帧采用 I 帧编码，且跳过第 $n + 3$ 帧。

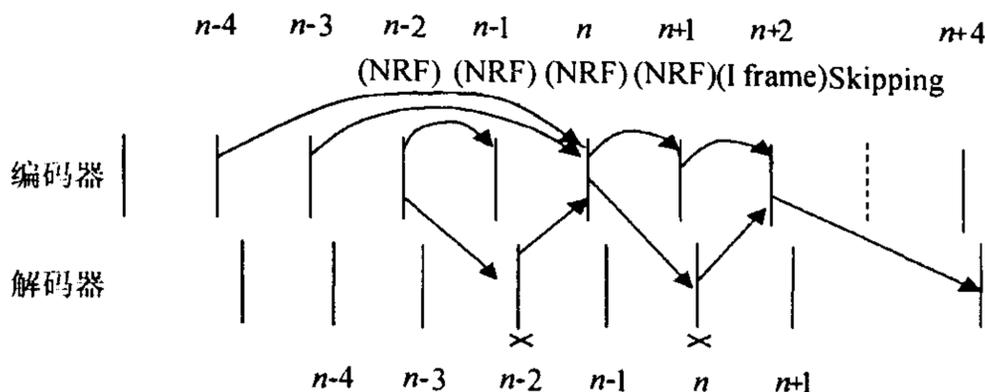


图 3 I 帧的设置和传输图

4 模拟实验及结果

我们将最新的 H26L 视频编解码器的源程序集成入功能强大的网络仿真平台 OPNET 中，实现了视频在 WLAN 上的实时编码、传输和解码仿真。

实验中的 WLAN 采用基本无中心型结构 (Ad hoc 模式)。视频服务器 (H26L server) 和客户端 (H26L client) 的速率均设置为 1Mbps，测试序列为 QCIF 的 Foreman 序列，编码帧率为 15 帧 /s，仅第一帧设为 I 帧，其余帧均设为 P 帧，P 帧的参考帧数 n_r 取为 4，每帧打成 3 或 9 个包，每帧作为一个组预编码若干个 FEC 包，高层包在 MAC 层中不拆分。其余的基站产生背景业务，背景业务的配置如表 1：

表 1 背景业务的配置

基站个数	3	分组平均大小 (byte)	1024
ON 的平均持续时间 (s)	0.01	数据率 (Mbps)	1
OFF 的平均持续时间 (s)	0.01	重发次数	7
分组平均达到间隔 (s)	0.006	背景业务总负载 (Mbps)	2.048

从表 1 可知，网络负载繁重，远超过传输带宽。

实验分 3 种方案进行，对应的 PSNR 示于图 4 中。

方案 1 若反馈信息指示有丢包，则采用我们提出的参考帧选择和 I 帧更新算法 (图 4 中的 ref-frm-sel 曲线)；

方案 2 若反馈信息指示有丢包，则当前帧采用 I 帧编码 (图 4 中的 Intra 曲线)

方案 3 不管反馈信息如何，均采用标准方式编码 (图 4 中的 Normal 曲线)。

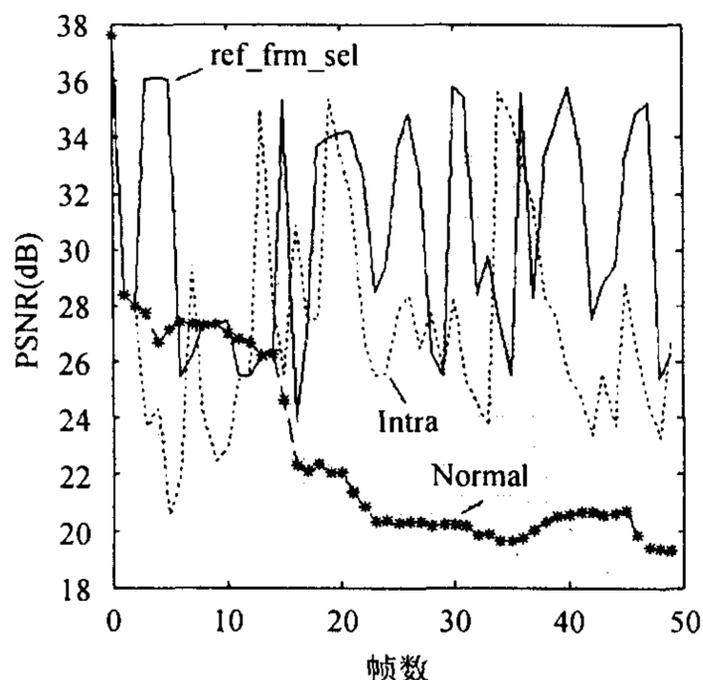


图4 PSNR 比较图

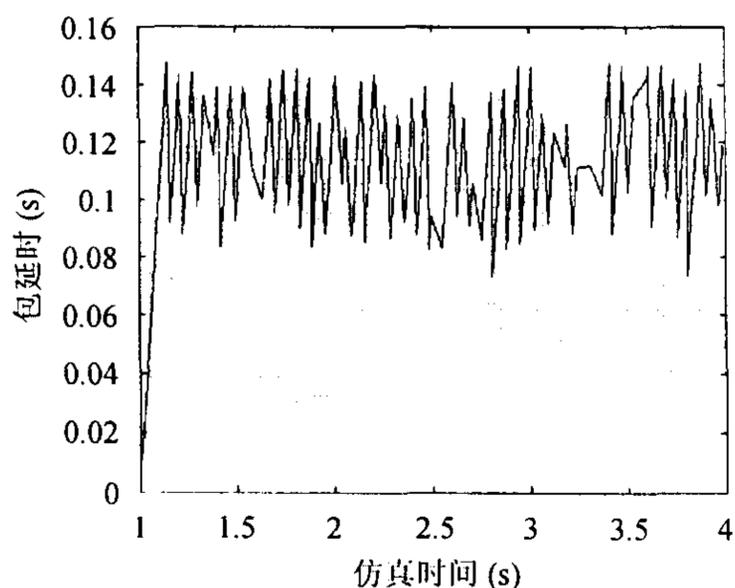


图5 视频包端到端延时图

由于背景业务繁重, 实验中视频数据包有大量的丢失。方案3没有采取阻止差错后向传播的措施, 因而接收端恢复图像的PSNR越来越小, 主观质量极差。而方案1和方案2的主、客观质量均较好。相比之下, 方案1优于方案2, 平均PSNR值高出3.2dB。其原因是方案2存在大量的I帧编码, 数据量很大, 因而在限定的时间内传输会造成大量丢包的缘故(方案1的平均编码率为124kbps, 丢包率为14.6%; 而方案2的平均编码率为302kbps, 丢包率高达28%)。

图5为采用方案1时的视频包端到端延时图。从图中可知平均延时仅为133ms, 延时抖动小于65ms, 完全满足实时传输的要求。

5 结束语

本文讨论了视频在WLAN上的实时编码和传输问题。为减少传输延时, 提出了改进的混合ARQ/FEC算法。为有效阻止因时间预测造成的差错的后向传播, 基于H.26L编码的特点, 提出了一种参考帧选择和I帧更新算法。实验表明, 我们的算法在不增加编码率的条件下, 可有效阻止差错的后向传播, 接收端视频序列的恢复效果较好。

参 考 文 献

- [1] IEEE 802.11-1999 Standards for Information Technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks-specific requirements—Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications [S].
- [2] Liao J Y, Villasenor J. Adaptive intra block update for robust transmission of H.263. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 2000, 10(1): 30–35.
- [3] JM5.0C, <ftp://ftp.imtc-files.org/jvt-experts>
- [4] Majumdar A, Sachs D G, Kozintsev I, Ramchandran R, Yeung M. Multicast and unicast real-time video streaming over wireless LANs. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 2002, 12(6): 524–534.
- [5] Rizzo L. Effective erasure codes for reliable computer communication protocols. *ACM Computer Communication Review*, 1997, 27(2): 24–36.

朱小松: 男, 1964年生, 在职博士生, 研究方向为视频编码与传输。

陈敏: 男, 1980年生, 博士生, 研究方向为视频编码与传输 / 无线局域网接入控制。

余英林: 男, 1932年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为图像 / 信号处理、模式识别、神经网络等。