

OFDM 多载波系统无线图像的鲁棒性传输

王飒爽,戴居丰,侯春萍

(天津大学 电子信息学院,天津 300072)

(ss16@eyou.com)

摘 要:将图像分级编码与 OFDM 多载波调制技术相结合,对图像进行分级编码,使经过编码的数据按视觉重要性不同进行排列。然后再根据无线信道的实际衰落情况,为重要性不同的比特分配不同的信道、比特速率和功率,在总的发送功率一定的条件下,以及在满足视觉重要性不同的误比特条件下,使系统的传输速率最大。在上述自适应分配的基础上,根据各子信道传输的比特重要性的不同,采用不同信道编码,实现对视觉重要性高的比特的更高级别的保护,使其在较低的误比特率下进性传输。

关键词:正交频分多路复用;多载波系统;SPIHT;自适应分配

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

Robust wireless image transmission over OFDM multicarrier system

WANG Sa-shuang, DAI Ju-feng, HOU Chun-ping

(School of Electric Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The robust image transmission by combining scalable image coding with OFDM(orthogonal frequency division mutiplexing) modulation was considered. The output bit streams of the scalable image coder have different perceptual importance. It provided unequal error protection to these bit streams by adaptively assigning subchannel, bit rates and power according to instantaneous channel characteristics and maximize the bit rates of the system under a total power constraint and target BER's. Further, if the important bit streams are given higher channel error protections on the basis of above adaptive allocation, the system performance can be improved greatly.

Key words: OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing); multicarrier system; SPIHT; adaptive allocation

0 引言

OFDM 多载波调制技术被认为是未来移动通信系统的核心技术,并且在很多领域中已经得到了广泛的应用:如数字音频广播(DAB),数字视频广播(DVB),无线局域网 IEEE802.11a 和欧洲的 HiperLAN2 协议中也选定了 OFDM 作为物理层技术。此技术的优势在于:它将传输信道分成若干相互正交的子信道,实现数据的并行传输,从而延长了符号时间,减少了符号间干扰(ISI),使 OFDM 系统能有效地抵抗频率选择性衰落和窄带干扰。并且提高系统的传输速率和频谱利用率^[1]。另外,它还可以对不同的信道独立地采用不同的信道编码和调制方式。在无线信道的高速率多径传输中,多载波系统各子信道的衰落情况各不相同,如果根据信道的实际衰落情况,自适应地为各子信道分配重要性不同的数据,比特速率和功率,采用不同的信道编码,能有效地改善整个系统的性能^[3]。

未来移动通信系统希望提供各种多媒体业务,对无线图像和视频业务的支持是未来无线网络的重要特征。然而,如何在有限的无线频率资源和时变错误特性的无线信道下,进行无线图像和视频业务的有效传输,一直是学术界研究的热点。文中将图像分级编码与 OFDM 多载波调制技术相结合,

提出一种基于 OFDM 多载波系统的无线图像鲁棒性传输的方法。

1 系统描述

OFDM 系统无线图像鲁棒性传输的主体设计如图 1。

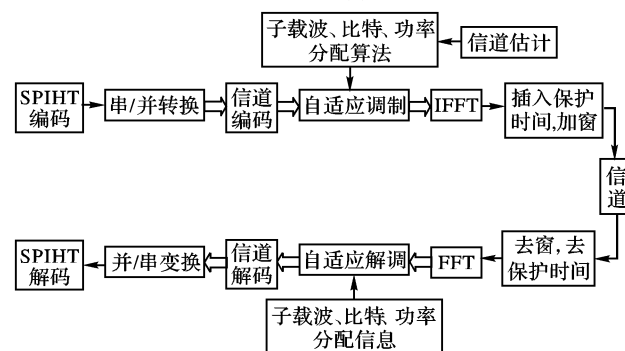


图 1 基于 OFDM 多载波调制的无线图像鲁棒性传输系统

在图 1 中,原始图像经 SPIHT 编码器编码后,输出的码流按视觉重要程度排列,既重要的信息在前,不重要的信息在后。由于 SPIHT 编码器输出码流的视觉重要性不同,则它们对误比特率的要求也各不相同。视觉重要的比特发生错误,对图像正确重构的影响相对较大,所以这部分码流对误比特

收稿日期:2005-04-08;修订日期:2005-07-06 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60372084)

作者简介:王飒爽(1972-),女,天津人,博士研究生,主要研究方向:无线图像与视频传输、图像压缩编码;戴居丰(1944-),男,湖北人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像通信、通信系统与通信网;侯春萍(1956-),女,北京人,教授,博士生导师,主要研究方向:移动通信关键技术及无线多媒体。

率的要求也相对较高,传输时需要重点保护。这种对重要性不同的码流进行不等错误保护(UEP)比等错误保护(EEP)的传输更具鲁棒性^[3,4]。

本文利用多载波系统在频率选择性衰落中,各子信道的衰落程度不同,从而可以将性能好的信道分配给视觉重要的码流,将性能相对较差的信道分配给不太重要的码流。然后,在总的发送功率一定的条件下,加大重要码流的发送功率,使其在较低的误比特率下传送,而不太重要的码流在相对较高的误比特率下进行传输。另外,还可以在上述自适应分配的基础上,通过对重要性不同的码流加入不同的信道编码,进一步加大对重要码流的信道保护。从后面的仿真结果中可以看到:这样做虽然加入了信道冗余,但传输效果却有很明显的改善,使图像传输更具鲁棒性。

对重要性不同的码流的不等错误保护,是本文中自适应分配算法的作用之一。同时,算法还可以在总发送功率一定,并满足图像编码内容不同的误比特率要求的条件下,通过自适应比特速率的分配,来调整各子信道的传输速率,使系统的传输速率最大。在对视觉重要程度不同的码流进行不等错误保护的同时,也对系统的传输速率进行调整,使系统得到优化。

2 自适应子载波,功率和比特速率的分配

2.1 子载波分配

在频率选择性衰落信道中,各子信道的衰落特性互不相同。假设第 i 个子信道的信道增益为 a_i ,将子信道按信道增益递减的顺序排列,即: $a_1 \geq a_2 \geq a_3 \cdots \geq a_N$ (假设有 N 个可用信道)。然后,将 SPIHT 编码器输出码流依次分成 N 部分,即: $L_1, L_2, L_3 \cdots L_N$,各部分的重要性分别为: $L_1 > L_2 > L_3 > \cdots > L_N$ 。将信道增益高的子信道分配给视觉重要的码流,即: L_1 分配信道增益为 a_1 的子信道, L_2 分配信道增益为 a_2 的子信道,依次类推,这样的分配可以使在不增加发送功率的条件下有效改善系统性能。

2.2 功率、比特速率分配

如果要达到给定的传输质量(以误比特率来衡量),接收端所需要的信号功率为 $f(R_i)$,发送端第 i 个子信道的信号所需要的发送功率为:

$$P_i = f(R_i)/\alpha_i^2 \quad (1)$$

若采用 QAM 调制,当第 i 个子信道符号速率为 R_i 比特/符号,误比特率要求为 P_{ei} 时, R_i 比特/符号所需的发送功率:

$$f(R_i) = (N_0/3) [Q^{-1}(p_{ei}/4)]^2 (2^{R_i} - 1) \quad (2)$$

$$\text{其中 } Q(x)^{[5]} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$$

这里借鉴文献[6]频分复用系统的比特,功率分配算法的思想,并加以改进。为了简化算法的说明,又不失一般性,我们将图 1 中 SPIHT 编码器输出的码流分成视觉重要程度不同的两层:HS 和 LS(比如可以将前面的 $L_1 \sim L_i$ 划分为 HS 层, $L_{i+1} \sim L_N$ 划分为 LS 层, i 和 N 都为偶数),HS 层的重要程度高于 LS 层。各层在不同信道条件下,对误比特率的要求分别为 p_{e1} 和 p_{e2} ($p_{e1} < p_{e2}$),传输速率分别为 R_1 和 R_2 ,这里要求分配给同一层码流的子信道具有相同的误比特率和传输速率,根据(1)式和(2)式可得各子信道所需发送功率的表达式。由于 HS 层的码流对误比特率有较高的要求,相应地,也就需要较大的功率来处理。而 LS 层的码流对误比特率的要求相对较

低,所需功率也相对较少。第 i 个子信道的 HS 层和 LS 层码流的功率代价函数可以表示为:

$$p_{1i} = f(R_{1i})/\alpha_i, \text{ 其中 } R_{1i} = R_1 \quad (3)$$

$$p_{2i} = f(R_{2i})/\alpha_i, \text{ 其中 } R_{2i} = R_2 \quad (4)$$

其中 $P_{1i}, P_{2i}, R_{1i}, R_{2i}$ 分别为第 i 个子信道 HS 层码流的发送功率,LS 层码流的发送功率,HS 的数据速率,LS 的数据速率。对第 i 个子信道来说,它要么处理 HS 层的码流,要么处理 LS 层的码流,也就是说第 i 个子信道速率只能是 R_1, R_2 两者之一,这样将(3),(4)式合并为:

$$P_i = f(R_1, R_2)/\alpha_i \quad (5)$$

其中 R_1 或 R_2 任意一个为 0,且这里假设 $(R_1, R_2) \in S = \{0, 1, 2, 4, 6, 8\}$ 。

通过以上的子载波和功率的分配,可实现对视觉重要程度不同的比特的不等错误保护。对数据传输速率的优化,我们采用在总发送功率(P_{budget})一定,并且满足 HS 和 LS 层各自所要求的误比特率的条件下,从集合 $S = \{0, 1, 2, 4, 6, 8\}$ 中选择速率,使 HS 和 LS 数据速率最大,其数学模型为:

$$\max R = \max \left(\sum_{i=1}^L R_1 + \sum_{i=L+1}^N R_2 \right) \quad (6)$$

限制条件:

$$\sum_i f(R_1, R_2)/\alpha_i \leq P_{budget} \quad (7)$$

其中 R_1 和 R_2 任意一个为零。

拉格朗日算式为:

$$\max \{ LR_1 + (N-L)R_2 + \lambda [P_{budget} - \sum_{i=1}^N f(R_1, R_2)/\alpha_i] \} \quad (8)$$

这样通过(8)式,可以求得最优的 R_1^*, R_2^* 。这里需注意一个问题,由于从(8)式求出的数据速率的极值不一定是整数,需将其取整。

3 实验结果

采用 512×512 Lena 和 Pepper 图像对系统在高斯噪声信道下进行性能分析, SPIHT 编码速率为 0.5bpp,子载波数为 16,采用 BPSK 调制。为了验证所提出的图像传输方案的有效性,本文设计以下传输方法:

1) 等错保护(EEP)方法:对 SPIHT 编码器输出码流采用等错保护,使各子信道在相同的误码率和比特速率下进行传输。

2) 自适应分配(Adaptive Allocation, AA)方法:采用本文提出的自适应分配算法,将 SPIHT 编码器输出码流分成 16 个数据长度相同的部分,即: $L_1, L_2, L_3 \cdots L_{16}$,各部分的重要性为: $L_1 > L_2 > L_3 > \cdots > L_{16}$ 。 $L_1 \sim L_4$ 为第一层, $L_5 \sim L_8$ 为第二层, $L_9 \sim L_{16}$ 为第三层,这三层数据在不同信噪比下的误比特率要求分别为: p_{e1}, p_{e2}, p_{e3} ,其中 $p_{e1} < p_{e2} < p_{e3}$ 。

3) 自适应分配加信道编码(Adaptive Allocation + Channel Code, AA + CC)方法:与自适应分配方法相同,只是这里对 SPIHT 编码器输出码流前两层加入了卷积和 CRC 校验,最后一层只加入 CRC 校验,这样一方面更进一步加大对前两层的保护。另一方面,这里的 CRC 校验一旦检测到比特错误,为了防止错误传播, SPIHT 解码器将立即停止解码,只利用接收到的正确数据恢复原始图像。

图 2 是上述三种方案在不同平均信道噪声比下, Lena 和 Pepper 重建图像的 PSNR(其结果是 100 次实验平均的效果)比较,从图中可以看出采用自适应分配算法方案明显好于等

错保护方案,特别是在低信噪比下,等错保护方案由于解码所需要的头信息被破坏,经常导致解码失败。自适应分配方案由于是重要比特在较低的误比特率下进行传送,从而 PSNR 有明显提高。并且,由于对头信息的高级别保护,使解码失败的概率大大降低。自适应分配加信道编码方案由于在自适应分配方案的基础上又加入了信道保护,使系统的整体误码率进一步下降,从而其传输效果是三种方案中最好的。

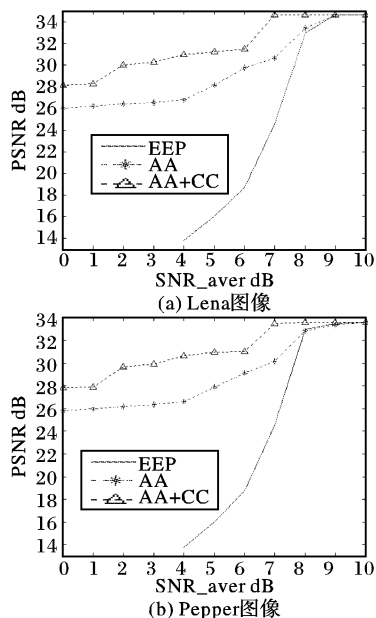


图 2 不同传输方案的 PSNR 比较

(上接第 2344 页)

图 8(c)是对含水印图像进行挤压 10 度攻击后的结果,图 8(d)是从图 8(c)中提取的水印,其 NC 值为 0.840 1。虽然这两个提取的水印 NC 值都比较大,但是,从视觉效果上,已经无法分辨该二值水印图像所表达的含义。实验结果表明,该算法对于扭曲变形攻击的抵御能力还不是很强。

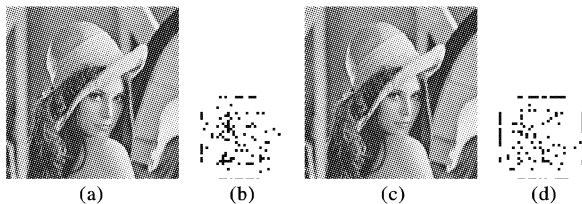


图 8 经扭曲和挤压处理后的含水印图像和提取的水印图像

3 结语

本文根据小波变换系数零树结构的特点,在充分考虑 HVS 掩蔽特性的基础上,给出了一种基于分块 DWT 的鲁棒自适应公开水印算法。该算法在提取水印时,不需要原始图像,完全实现了盲水印提取,具有较强的实用性。在描述算法的基础上,给出了实验结果和抗攻击性能分析。实验结果表明,该算法对于信号增强具有相当强的鲁棒性,对于 JPEG 压缩和噪声攻击具有较好的性能;对于几何攻击中的扭曲和挤压等变形攻击的鲁棒性不是很强,是下一步需要改进的地方。

参考文献:

- [1] ISO/IEC JPEG committee, JPEG 2000 image coding system[S]. ISO/IEC 15444-1:2000, December 2000.
- [2] TAUBMAN D, MARCELIN MW. JPEG2000-Image Compression-Fundamentals, Standards and Practice[J]. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.

4 结语

将自适应技术应用到 OFDM 多载波的无线图像分级传输中,性能明显好于不采用自适应技术的等错保护系统。同时,在自适应系统对重要性不同的比特再加以不同的信道编码,系统性能得到了较大的改善。

参考文献:

- [1] BINGHAM JAC. Multicarrier Modulation for Data Transmission: an idea whose time has come [J]. IEEE Communication Magazine, 1990, 28(5): 5-14.
- [2] SAID A, PEARLMAN WA. A New Fast and Efficient Image Coder Based on Set Partitioning in Hierarchical Trees [A]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology [C]. 1995, 6(3).
- [3] ZHENG H, LIU KJ Ray. Robust Image and Video Transmission Over Spectrally Shaped Channels Using Multicarrier Modulation [J]. IEEE Trans. On Multimedia, 1999, 1(1): 88-103.
- [4] ALATAN AA, ZHAO M, AKANSU AN. Unequal Error Protection of SPIHT Encoded Image Bit Streams [J]. IEEE Journal on Select Areas Communications, 2000, 18(6): 814-818.
- [5] WONG CY, CHENG RS, LETAIEF KB. Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation [A]. IEEE J. Select Areas Commun. [C]. 1999, 1747-1758.
- [6] PRADHAN S, RAMCHANDRAN K. Efficient Layered Video Delivery Over Multicarrier Systems Using Optimized Embedded Modulation [A]. In Proc. IEEE ICIP [C]. Santa Barbara, CA, Oct. 1997.
- [7] HUANGJ W, SHI YQ, SHI Y. Embedding image watermarks in DC components [J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 974-979.
- [8] COX I. A review of watermarking and the importance of perceptual modeling [J]. Proc of SPIE 1997, 3016: 92-9.
- [9] BARNI M, BARTOLINI F. Improved wavelet-based watermarking through pixel-wise masking [J]. IEEE Trans Image Processing, 2001, 10(5): 783-91.
- [10] PODICHUK CI, ZENG W. Image-Adaptive watermarking using visual models [J]. IEEE Journal on Special Areas in Communications, 1998, 16(4): 525-539.
- [11] NADENAU M, REICHEL J. Compression of color images with wavelets under consideration of the HVS [A]. in Proc SPIE Human Vision and Electronic Imaging [C], SPIE (San Jose, CA), 1999, 3644: 24-29.
- [12] HU YJ, KWONG S. Wavelet domain adaptive visible watermarking [J]. Electronics Letters, 2001, 37(27): 1219-1220.
- [13] BEETRAN M, DEMIGLE JF, MACQ B. Some improvements to HVS models for fingerprinting in perceptual decompressors [A]. Proceedings of 2001 International Conference on Image Processing [C], 2001, 2: 1039-1042.
- [14] 牛夏牧, 陆哲明, 孙圣和. 基于多分辨率的数字水印技术 [J]. 电子学报, 2000, 28(8): 1-4.
- [15] 刘彤, 裴正定. 小波域自适应图像水印算法研究 [J]. 计算机学报, 2002, 25(11): 1195-1199.
- [16] 黄达人, 刘九芬, 黄继武. 小波变换域图像水印嵌入对策和算法 [J]. 软件学报, 2002, 13(7): 1290-1297.
- [17] 杨恒伏, 陈孝威. 小波域鲁棒自适应公开水印技术 [J]. 软件学报, 2003, 14(9): 1652-1660.
- [18] 张军, 王能超. 数字图像的自适应公开水印技术 [J]. 计算机学报, 2002, 25(12): 1371-1377.