

基于 HQAM 的视频传输不等保护方法

葛 伟¹, 陈 瑞², 曹雪虹^{1,2}

(1. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003;
2. 南京工程学院 通信工程学院, 江苏 南京 211167)

摘 要:针对传统视频传输重建图像质量低的问题,文中提出了一种利用 HQAM(分级正交幅度调制)为视频码流中重要性不同部分提供不等保护的无线视频传输方法。由于压缩后视频流中不同部分对传输错误的敏感度不同,因而在视频恢复过程中的重要性也就不同,文中利用 HQAM 在不增加传输带宽的情况下为高优先级数据(高敏感度)提供较高强度的保护,但是是以牺牲低优先级数据(低敏感度)的误码率为代价的。在仿真环境为加性高斯白噪声信道(AWGN)下进行了仿真,结果表明,与均等保护相比,在相同信道带宽和 Eb/No 条件下,该方法有效提高了视频重建质量。

关键词:分级正交幅度调制;不等保护;视频传输;H. 264/AVC

中图分类号:TN919.8

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)10-0241-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.10.058

Unequal Error Protection Strategy for Video Transmission Based on HQAM

GE Wei¹, CHEN Rui², CAO Xue-hong^{1,2}

(1. College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and
Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. School of Communication Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: Aiming at the traditional video transmission problem of low quality reconstructed image, a novel unequal error protection strategy for video transmission over the wireless channel by using Hierarchical Quadrature Amplitude Modulation (HQAM) is proposed. Based on the unequal sensitivity of coded bit stream against transmission errors, investigate the properties of HQAM constellation to provide different degree of error protection to the coded bits having different degree of importance. Using HQAM to protect higher priority (more sensitive) bits strongly without any additional bandwidth, but at the cost of increased errors in the lower priority (less sensitive) bits. The performance of the transmission system is evaluated under the Additive White Gaussian Noise (AWGN). The simulation results indicate that the strategy produces a high quality of the reconstructed video data compared with uniform protection under the same channel width and Eb/No.

Key words: hierarchical quadrature amplitude modulation; unequal error protection; video transmission; H. 264/AVC

0 引言

针对无线信道有限的带宽和时变特性,下一代无线通信系统迫切需要解决的问题之一就是如何尽可能改善无线视频传输后接收端视频的恢复质量。优异的压缩效率和良好的网络亲和力使得 H. 264/AVC 视频编码标准^[1]成为目前视频传输中应用较为广泛的视频压缩编码标准。然而, H. 264/AVC 码流对传输差错十分敏感,并且容易造成误码的扩散,这主要归咎于采用

了变字长编码技术和预测编码结构,从而严重降低了解码端视频的恢复质量。因此,一个重要的问题就是如何在恶劣的移动环境中保护对传输差错高度敏感的压缩视频信息。为了减小传输差错对视频恢复质量的影响,文献[2-7]中均提出了一些视频传输过程中较为有效的抗误码技术。其中,不等差错保护(Unequal Error Protection, UEP)技术被视为在不增加传输带宽的条件下最为有效的抗误码技术之一。对于压缩后的

收稿日期:2013-11-03

修回日期:2014-02-12

网络出版时间:2014-07-17

基金项目:江苏省自然科学基金资助项目(BK20131342)

作者简介:葛 伟(1988-),男,硕士,研究方向为现代通信中的智能信号处理;陈 瑞,博士,副教授,研究方向为无线多媒体通信;曹雪虹,博士生导师,教授,研究方向为无线通信中的智能信号处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140717.1233.044.html>

视频流数据,不同的数据块对解码端视频恢复质量具有不同的重要性,比如,运动矢量和参数集的重要性要远大于纹理视频数据,因此需要提供更高强度的保护来提高视频的恢复质量,不等差错保护正是基于这种思想提出的。当重要比特发生错误时,重建的视频质量将急剧下降,所以这些重要比特要比其余的视频比特流提供更高优先级的保护。分级正交幅度调制是 UEP 的一种,它是将 H. 264/AVC 码流中高优先级 (High Priority, HP) 数据映射到星座点中的高有效比特 (Most Significant Bits, MSB), 而将低优先级 (Low Priority, LP) 数据映射到星座点中的低有效比特 (Least Significant Bits, LSB), 通过牺牲 H. 264/AVC 码流中次要部分的抗误码性能来保证重要部分的可靠传输。当传输环境较为恶劣即低信噪比条件下,相比于非分级调制,分级调制可以有效地改善整个视频质量,因为对误码更敏感的高优先级数据被映射到 HQAM 中的 MSB 从而获得了较低的误码率。为了区分压缩后数据流中的重要部分和非重要部分,文献[8]使用 H. 264/AVC 中定义的数据分割 (Data Partition, DP) 来划分码流,而文献[9-10]则是按宏块在每帧中的位置和不同帧的编码类型来划分 H. 264/AVC 码流,从而实现视频传输过程中的不等差错保护。

为了减小视频传输过程中的传输差错造成的恢复视频质量的下降,与文献[11-12]中提出的基于片层的数据分割不同,文中提出了一种基于 NAL 的码流分割策略,依据不同部分对传输误码的敏感性不同,将压缩后的视频流分成重要性不等的两部分,然后利用 16-HQAM 分别对两部分进行调制,最后送入 AWGN 信道进行传输。仿真结果表明,在较低 Eb/No 条件下,该方法能较有效地提高视频的恢复质量。

1 HQAM 不等保护原理

选择通信系统调制方式通常需要权衡功率效率、带宽效率和实现复杂度这三个因素^[13]。对于 HQAM 调制,调制星座点数通常可表示为

$$M = 2^L, L \in \mathbb{Z}^+, L \geq 3 \quad (1)$$

式中, L 指的是每个 HQAM 符号中所包含的比特数。随着 M 的减小,功率效率提高但带宽效率降低,相应的解调复杂度增大;反之,功率效率降低但带宽效率提高,解调复杂度也随之减小。因此,从功率效率、带宽效率和实现复杂度三方面综合考虑,文中选择 $M = 16$ 的 HQAM 调制。

相邻星座点所代表的 HQAM 符号间的比特差异决定了星座点映射方式的抗噪声性能。对于 HQAM,可以选择自然码映射或者格雷 (Gray) 码映射。相比于自然码映射方式,采用 Gray 码映射可以使相邻的星座

符号间只相差 1 bit,这样即使在解调时误将当前符号判为相邻符号,也仅会造成 1 bit 的错误,因而这种映射方式具有更强的抗噪声性能。基于这种考虑,文中选择 Gray 码实现 HQAM 的星座点映射。图 1 给出了采用 Gray 码映射的 16-HQAM 调制星座图,图中, d_1 表示不同象限两星座点之间的最小距离, d_2 表示同一象限中两星座点之间的最小距离。调制参数 α 定义为:

$$\alpha = d_1/d_2 \quad (2)$$

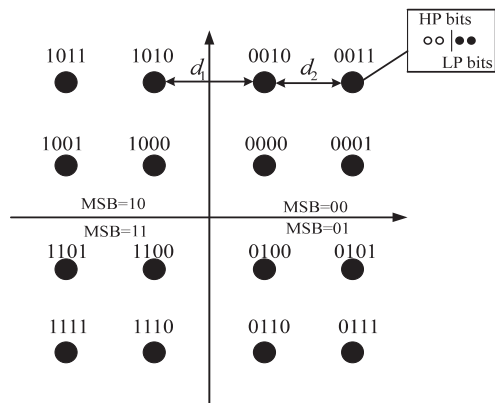


图 1 16-HQAM 调制星座图

当 $\alpha = 1$ 时,图 1 所示的 HQAM 调制星座图便退变为一般的 QAM 调制星座图,此时,每个 QAM 符号中的 MSB 部分和 LSB 部分的抗误码性能相同。当调整 d_1 和 d_2 使得调制参数 $\alpha > 1$ 时,QAM 符号中 MSB 部分的抗误码性能将高于 LSB 部分的抗误码性能,并且随着调制参数 α 的继续增大,MSB 部分的误码率进一步降低,相应的 LSB 部分的误码率则进一步升高。

为了有效地改善视频中重要信息的误码率,将视频传输划分为两个子信道。子信道 1 (HP 信道) 是由每个星座点符号中高两位比特 (MSB) 组成,子信道 2 (LP 信道) 是由每个星座点符号中低两位比特 (LSB) 组成。在 HP 子信道中传输的比特流误码率要比 LP 子信道更小。因此,将压缩后的视频流中对视频恢复质量影响较大的比特部分映射到 HP 子信道中传输,而剩下的部分则映射到 LP 子信道中传输。

在 AWGN 信道中,每个 HQAM 符号中不同位置比特的误码率是调制参数 α 和平均比特信噪比 γ 的函数^[14]。以文中所采用的 16-HQAM 星座图为例,HQAM 符号中 MSB 的误码率可表示为:

$$P_{\text{MSB}} = 0.25 \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{(\alpha + 2)^2}{(\alpha + 1)^2 + 1} \gamma \right)^{\frac{1}{2}} \right] + 0.25 \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{\alpha^2}{(\alpha + 1)^2 + 1} \gamma \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (3)$$

其中, α 是 HQAM 调制参数; $\gamma = \text{Eb/No}$,为对应的比特信噪比; $\operatorname{erfc}(x)$ 为互补误差函数,其表达式为:

$$\operatorname{erfc}(x)=\frac{2}{\pi^{1/2}}\int_x^{\infty}\exp(-t^2)\mathrm{d}t$$

(4)

HQAM 符号中 LSB 的误码率为:

$$P_{\text{LSB}}=0.5\operatorname{erfc}\left[\left(\frac{\gamma}{(\alpha+1)^2+1}\right)^{\frac{1}{2}}\right]+$$
$$0.25\operatorname{erfc}\left[\left(\frac{2(2\alpha^2+5\alpha+4)}{(\alpha+1)^2+1}\gamma\right)^{\frac{1}{2}}\right]-$$
$$0.25\operatorname{erfc}\left[\left(\frac{2(2\alpha^2-5\alpha+4)}{(\alpha+1)^2+1}\gamma\right)^{\frac{1}{2}}\right]$$

(5)

然而,文献[7-9]均使用固定调制参数 α 的 HQAM 调制来实现不等差错保护,却并没有指出如何确定调制参数 α 。对上文提到的互补误差函数 $\operatorname{erfc}(x)$ 做如下近似^[15]:

$$\operatorname{erfc}(x)\approx\exp(-x^2)/6$$

(6)

将(6)式带入(3)式可得:

$$P_{\text{MSB}}=\frac{1}{24}\{\exp\left[-\frac{(\alpha+2)^2}{(\alpha+1)^2+1}\gamma\right]+$$
$$\exp\left[-\frac{\alpha^2}{(\alpha+1)^2+1}\gamma\right]\}$$

(7)

令 $X=\exp(-\gamma)$, 则

$$24P_{\text{MSB}}=X^{\alpha^2/((\alpha+1)^2+1)}[X^{(4\alpha+4)/((\alpha+1)^2+1)}+1]$$

(8)

对式(8)两边取对数可得:

$$\ln(24P_{\text{MSB}})=\frac{\alpha^2}{(\alpha+1)^2+1}\ln X+$$
$$\ln[X^{(4\alpha+4)/((\alpha+1)^2+1)}+1]\approx\frac{\alpha^2}{(\alpha+1)^2+1}\ln X$$

(9)

令 $Y=\frac{\ln(24P_{\text{MSB}})}{\ln X}$, 则

$$Y\approx\frac{\alpha^2}{(\alpha+1)^2+1}$$

(10)

求解以上关于 α 的方程,则其中大于 1 的解即为所求的 HQAM 的调制参数。

因此,若给定误码率 P_{MSB} 和比特信噪比 γ , 则通过式(10)可以计算出相应的调制参数 α , 再将所求的调制参数 α 和比特信噪比 γ 带入式(5)便可求得 QAM 符号中相应 LSB 部分的误码率。

2 基于 16-HQAM 的 UEP 方案与实现

2.1 基于 NALU 的 H.264 码流分割策略

H.264 的码流采用网络抽象层(NAL 单元)封装,每个 NAL 单元具有特定的数据类型,它包含一个 NAL 单元头部和一个原始字节序列载荷(Raw Byte Sequence Payload, RBSP)。NAL 单元可能的类型有序列参数集(SPS)、图像参数集(PPS)、增强信息(SEI)、图像定界符和编码片等,其中 SPS 携带的是一连续编码视频序列的参数,如参考帧数目、解码图像尺寸和帧场

编码模式选择标识等。PPS 对应的是一个序列中某一幅图像或某几幅图像的信息,包括片组数目、初始量化参数和熵编码模式选择标识等。对于一个视频序列,参数集一旦丢失,将会直接导致整个视频流无法解码。同时,IDR 帧作为立即刷新帧,是解码器用来刷新存储数据,消除累积错误的开始,也是后续 P 帧解码的参考帧,它的正确接收直接影响图像的重建质量。而 P 帧总是参考在它前面的帧进行压缩,因此越往后面所含的图像信息重要性越低。

由于 H.264 采用了分层结构,这大大改变了视频传输的鲁棒性。即只要参数集(包括 SPS 和 PPS)能够正确被接收,那么就可以为接收端提供有效的解码环境,只要 IDR 帧正确解码那么便可为后续 P 帧的解码提供有效的参考,即使有其他部分数据丢失也不会有致命影响。

综合以上考虑,文中在处理采用帧间压缩方式的视频流数据时,将每一个 GOP 中的参数集(包括 SPS 和 PPS)和 I 帧看作高优先级(HP)数据,而把所有的 P 帧看作低优先级(LP)数据,如图 2 所示。这种分割方法既能明显地区分重要性的差别,也能保证 HP 数据与 LP 数据的数据量相当,在一定程度上保证了文中所提不等保护算法的可行性。

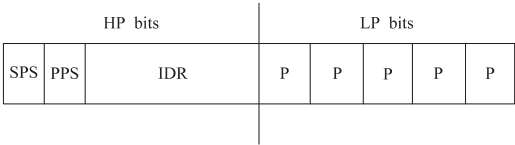


图 2 帧间压缩的视频分割方法

2.2 所提方案的系统实现

基于 16-HQAM 的不等保护方案的系统框图如图 3 所示。原始视频序列经过 H.264 编码器压缩编码后生成后缀名为 264 的压缩数据文件,接着使用上文提到的码流分割策略将压缩后的数据流分成两部分,即高优先级(HP)数据部分和低优先级(LP)数据部分。可以通过每个 NAL 单元中 NAL 头结构中的 nal_unit_type 标志来判断每个 NAL 单元的类型,如对于 IDR 帧,nal_unit_type 的值为 5,而对于 SPS 和 PPS 这个值则分别为 7 和 8。如果判断出 NAL 头结构中的 nal_unit_type 标志位的值为 5、7 或者 8,则将相应的 NAL 单元中的数据划归为高优先级数据部分,若是其他值,相应的数据流则划归到低优先级数据部分。将分割后的数据流进行 16-HQAM 调制,其中 HP 数据部分调制到每个星座点符号的高两位即 MSB 上,LP 数据部分则调制到每个星座点符号的低两位即 LSB 上,然后送入 AWGN 信道中传输。接收端对收到的带有部分误码的数据流根据对应的调制参数进行解调并分离出带有误码的 HP 和 LP 两部分数据,再根据原先设置的标志

位将码流进行重组,即两部分数据合并后再写入文件,经 H.264 解码器解码后恢复视频信息。

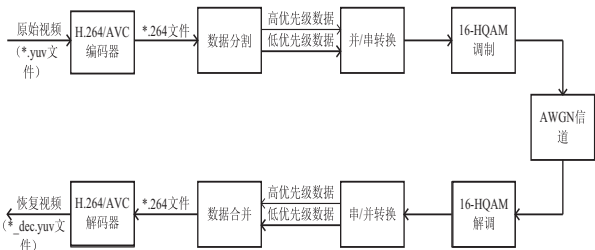


图3 HQAM 不等保护传输系统模型

3 仿真实验及分析

为了验证文中所提的基于 HQAM 的不等保护方法的有效性,文中完成了一系列的仿真实验,并给出了相应的仿真结果。

文中采用 H.264/AVC 参考软件 JM8.6 对视频文件进行压缩编码。选择 QCIF (176 * 144) 格式的标准视频序列 Foreman 作为测试序列,该序列的特点是画面运动比较剧烈。采用 IPPPPP 的帧预测结构,帧率设为 30 f/s。信道采用加性高斯白噪声信道,文中使用 E_b/N_0 (一个比特信号平均能量与噪声的平均功率谱密度之比) 来衡量信道的传输条件,值越大表示信道条件越好。使用峰值信噪比 (PSNR) 作为恢复视频质量的评估标准,其值越大画面越清晰。通过对每个仿真关键点进行多次仿真,最后将所得的 PSNR 的平均值作为实验结果,即

$$PSNR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PSNR_i \quad (11)$$

其中, N 的值取 20, 即每个关键点仿真 20 次; $PSNR_i$ 为第 i 次实验的峰值信噪比。

图 4 给出了在 AWGN 信道条件下使用 16-HQAM 调制后,高优先级数据与低优先级数据的误码率情况。图中 α 分别取 1、1.2、1.4 和 1.6 四个值,其中 $\alpha = 1$ 时分级 QAM 调制则退化为一般的 QAM 调制,即两部分数据采取同等保护。

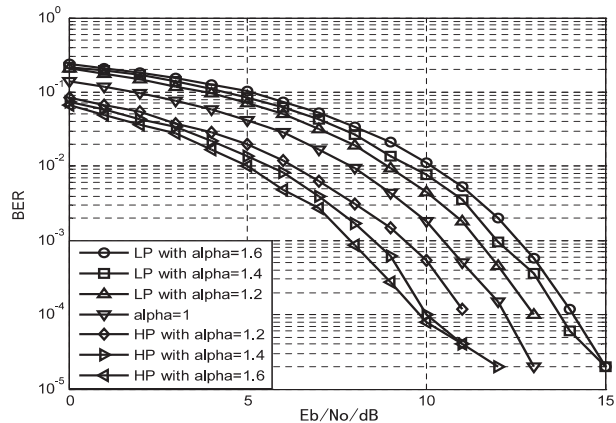


图4 α 取不同值下的 HP 与 LP 部分误码率性能曲线

由图 4 可以看出, α 取其他三个值 ($\alpha = 1.2, 1.4, 1.6, \alpha > 1$) 时,高优先级数据的误码率总是小于低优先级数据的误码率,且小于一般 QAM 调制的误码率。随着 α 取值的增大,高优先级数据在相应的 E_b/N_0 下的误码率进一步减小,而低优先级数据的误码率则进一步增大,两部分误码率曲线之间的距离也相应的拉大,即高优先级数据部分误码率的降低是以牺牲低优先级数据部分的误码率为代价的。当 $E_b/N_0 = 10$ dB, $\alpha = 1.6$ 时,两部分的误码率相差有 3 个数量级。

图 5 给出了不同比特信噪比条件下, α 取不同值时解码端的 PSNR 值情况。从图 5 可以看出,在比特信噪比较低的情况下,基于 16-HQAM 调制的不等保护方法相较于同等保护,能明显提高视频的恢复质量。当 $\alpha = 1.2, E_b/N_0 = 10.5 \sim 12.5$ dB 时,解码端的 PSNR 值能获得 1 ~ 5 dB 的提高。当 $E_b/N_0 = 10 \sim 11$ dB 时,与 $\alpha = 1.2$ 相比, $\alpha = 1.4$ 时解码端 PSNR 可以提高 1.4 ~ 2 dB。

由此验证了文中提出的不等保护方法的有效性,即在较低比特信噪比条件下,基于 16-HQAM 的不等保护方法能有效地改善视频传输质量。

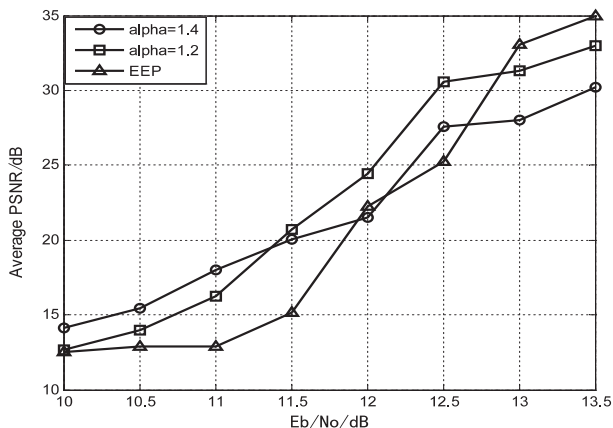


图5 α 取不同值下的 PSNR 性能曲线

然而,当信道条件优越 (E_b/N_0 值较大) 时,则呈现截然相反的趋势。这也是分级调制的弊端,因为分级调制是以牺牲 LSB 部分的误码率来减小 MSB 部分的误码率,那么在高比特信噪比情况下,整体的误码率已经很低,这时 LSB 数据部分的“短板效应”就体现出来了。

图 6 给出了不同的 E_b/N_0 条件下, α 取不同值时的总误码率情况。

从图中可以看出,随着 E_b/N_0 的增大, α 的取值越大,总的误码率反而增大。因为在高 E_b/N_0 下,高优先级数据已经到了出现极少错误或者不错的地步,而 α 的增大却换来总误码率的升高,这就是造成分级调制在高 E_b/N_0 下性能下降的主要原因。然而,不得不提的是,分级调制的确使得传输的视频流在一个较

大跨度的比特信噪比范围内,画面质量 (PSNR) 始终能保持在视觉可以接受的范围内。由此可以看出,分级调制可以有效地提高视频恢复质量的稳定性。

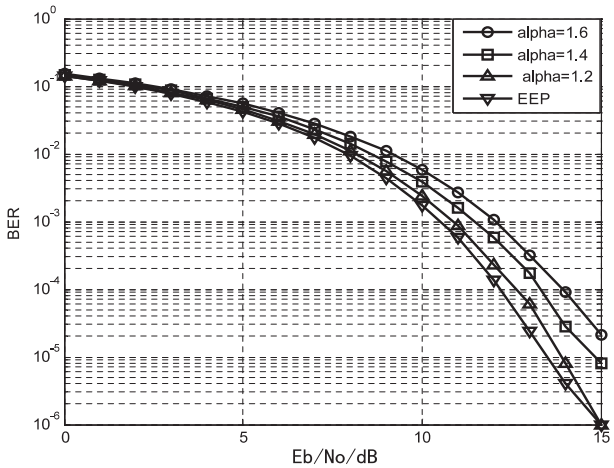


图 6 α 取不同值下的总误码率性能曲线

4 结束语

基于 H.264/AVC 视频流中不同的数据块对视频的重建质量具有不等的重要性,文中提出了基于 16-HQAM 的不等保护方法,星座点符号被分为两个子信道,即 HP 子信道和 LP 子信道。其中 HP 子信道用来传输视频流中对传输误码更加敏感的数据部分,剩下的数据则经过 LP 子信道传输。

仿真结果表明,在较低的比特信噪比条件下,文中所提方法可以有效地改善解码端视频的恢复质量,最高可达 5 dB。瑞利衰落信道模型和基于 64-HQAM 的更多级别的不等保护可以作为下一步的研究内容。

参考文献:

[1] Telecommunication Standardization Sector. ITU-T recommendation H.264 advanced video coding for generic audiovisual services[S]. [s.l.]:Geneva Telecommunication Standardization Sector,2009.

[2] 常 静,周 宇,李晓辉,等.一种改进的 H.264/AVC 空时编码方案及仿真实现[J].系统仿真学报,2012,24(4):907-911.

[3] Zhang Xingjun, Peng Xiaohong, Fowler S, et al. Robust H.264/AVC video transmission using data partitioning and unequal loss protection [C]//Proc of 10th IEEE international conference on computer and information technology. Bradford: IEEE,2010:2471-2477.

[4] Kambhatla K K R, Kumar S, Cosman P, et al. H.264/AVC video packet aggregation and unequal error protection for noisy channels[C]//Proc of 19th IEEE international conference on image processing. Orlando, FL:IEEE,2012:1649-1652.

[5] 侯春萍,倪春亚,侯永宏.基于 EWF 的 H.264 视频流 UEP 传输方案[J].天津大学学报,2012,45(4):309-313.

[6] Chang R Y, Lin Sian-Jheng, Chung Wei-Ho. Hierarchical space shift keying for unequal error protection[J]. IEEE Communications Letters,2012,16(9):1341-1344.

[7] Wang Yuchi, Lin Chenghan, Tsai Ming-Fong, et al. Cross-layer unequal error protection mechanism with an interleaved strategy for video streaming over wireless networks[C]//Proc of IEEE conference on wireless communications and networking. Sydney, NSW:IEEE,2010:1-6.

[8] Barmada B, Ghandi M M, Jones E V, et al. Prioritized transmission of data partitioned H.264 video with hierarchical QAM[J]. IEEE Signal Processing Letters,2005,12(8):577-580.

[9] Chang Y C, Lee Sze-Wei, Komiya R. A low-complexity unequal error protection of H.264/AVC video using adaptive hierarchical QAM[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2006,52(4):1153-1158.

[10] Chang Y C, Lee Sze-Wei, Komiya R. A low complexity hierarchical QAM symbol bits allocation algorithm for unequal error protection of wireless video transmission[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2009,55(3):1089-1097.

[11] Li Peng, Chang Yilin, Feng Nina, et al. A novel hierarchical QAM-based unequal error protection scheme for H.264/AVC video over frequency-selective fading channels[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2010,56(4):2741-2746.

[12] Li Peng, Feng Nina, Chang Yilin, et al. A channel quality based unequal error protection method for wireless video transmission[C]//Proc of 2010 international conference on computer and communication technologies in agriculture engineering. Chengdu:IEEE,2010:448-451.

[13] Andrea G. Wireless communications[M]. Cambridge, England:Cambridge University Press,2005.

[14] Vitthaladevuni P K, Alouini M S. BER computation of 4/M-QAM hierarchical constellations[J]. IEEE Transactions on Broadcasting,2001,47(3):228-239.

[15] Chiani M, Dardari D, Simon M K. New exponential bounds and approximations for the computation of error probability in fading channels[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2003,2(4):840-845.

基于HQAM的视频传输不等保护方法

作者:

葛伟, 陈瑞, 曹雪虹, [GE Wei](#), [CHEN Rui](#), [CAO Xue-hong](#)

作者单位:

[葛伟, GE Wei \(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京, 210003\), 陈瑞, CHEN Rui \(南京工程学院 通信工程学院, 江苏 南京, 211167\), 曹雪虹, CAO Xue-hong \(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003; 南京工程学院 通信工程学院, 江苏 南京 211167\)](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#) 

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2014(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201410059.aspx