

文章编号:1001-9081(2005)02-0335-03

## 正交频分复用系统中基于人眼视觉系统的自适应图像传输

亓中瑞,高振明

(山东大学 信息科学与工程学院,山东 济南 250100)

(qzrshanda@sdu.edu.cn)

**摘 要:**针对传统的图像传输方法,提出了一种基于人眼视觉系统的自适应图像传输方案。在 OFDM 系统中,通过将自适应技术与信源分割及信道特性相结合的方法,实现在频率选择性慢衰落信道中高质量的图像传输。为验证该方法的良好性能,三种不同图像源被用于仿真程序中。仿真结果及理论分析可以证明,自适应图像传输与传统的图像传输相比,可大幅度地提高接收图像的峰值信噪比。

**关键词:**自适应图像传输;正交频分复用(OFDM);人眼视觉系统(HVS)

**中图分类号:**TP391.41 **文献标识码:**A

## Adaptive image transmission scheme based on human visual system in OFDM

QI Zhong-rui, GAO Zhen-ming

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan Shandong 250100, China)

**Abstract:** According to the conventional image transmission method, an adaptive image transmission scheme based on HVS in OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) system over frequency selective slow fading channel was proposed in this paper. It combined adaptive sub-channel distribution technique with source partition and characteristics of fading channel to improve the quality of received image. In order to verify the good performance of the proposed method, three kinds of image were used in the simulations. Significant improvement in PSNR(Peak Signal Noise Ratio) of received image with adaptive image transmission relative to conventional one is demonstrated by the simulation results of three different image sources and theoretical analysis.

**Key words:** adaptive image transmission; Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM); Human Visual System(HVS)

### 0 引言

未来的无线通信系统需要宽带、高速的系统性能来满足如数据、声音、图像及实时视频之类的高质量多媒体传输业务<sup>[1]</sup>,高速宽带的通信方式已成为通信发展的必然趋势。由于无线信道的时间弥散性,符号间干扰(Inter Symbol Interference, ISI)和频率选择性衰落对符号的传输起到限制作用。为了克服信道记忆性带来的不良影响,多载波调制(Multicarrier Modulation, MCM)作为一种新型高速的传输技术被人们广泛的应用于现代无线通信系统中。

我们知道,当信道的时延扩展远远小于符号周期时,ISI对系统造成的影响可以忽略不计。MCM正是这样一种技术,凭借其良好的抗符号间干扰能力成为高速传输系统的主流与核心。作为一种有效提高系统性能的方法,各种各样的自适应技术被越来越多的应用到MCM系统中来。如自适应调制、自适应编码、自适应功率控制和比特分配等等<sup>[2-4]</sup>。本文将这一技术与正交频分复用(OFDM)<sup>[5]</sup>系统的子载波分配技术相结合,根据信道状况自适应的分配子信道。而作为一种典型多载波调制的OFDM技术已被众多国际标准所应用。例如,地面数字音频广播(DAB)、IEEE 802.11a<sup>[6]</sup>、HIPERLAN/2等。

长期以来,通过对人眼某些视觉现象的观察,并结合视觉生理、心理学等方面的研究成果,发现了各种各样的视觉掩盖效应。我们称之为“人眼视觉系统(HVS)”。研究表明<sup>[7]</sup>:人眼对图像边缘区及平滑区信息的失真比较敏感,对图像纹理区信息的失真不敏感。这一结果暗示我们,图像传输中,来自不同图像部位的数据应有不同的传输要求。本文提出了一种新型方案,通过将自适应子信道分配与信源分割技术相结合实现在频率选择性慢衰落无线信道中基于HVS和OFDM技术的高质量图像传输。

### 1 系统模型

图1给出了本文的系统模型。将信源S根据不同的重要等级分为 $N_g$ 组, $S_m$ 为映射之后的符号:

$$S_m = \sum_{i=1}^{N_g} u(S_i) \quad (1)$$

其中, $u$ 是采用格雷编码的映射函数,系统星座图及映射方式均源自IEEE 802.11a。

调制产生的符号被送入自适应分配单元,作为系统中最重要的单元,其功能是将调制并分割好的符号流根据不同的等级和信道状态信息(Channel State Information, CSI)送入相应的子信道中去,即实现自适应的子信道分配。经过

收稿日期:2004-07-26;修订日期:2004-10-27 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60372029)

作者简介:亓中瑞(1979-),男,山东济南人,硕士研究生,主要研究方向:多载波系统中的自适应技术;高振明(1941-),男,山东济南人,博士生导师,主要研究方向:无线传输及网络通信技术。

IFFT 之后,  $S_{t_k}$  为产生的 OFDM 符号:

$$S_{t_k} = \sum_{i=1}^{N-1} S_{m_i} \exp\left(j \frac{2\pi i k}{N}\right) \quad (0 \leq k \leq N-1) \quad (2)$$

这里  $N$  为子载波数,  $S_{m_i}$  是第  $i$  个子信道的调制符号。为了有效的消除 ISI 并提取定时同步信息, 循环前缀 (Cyclic Prefix, CP) 被加入到 OFDM 符号中来形成送入信道的传输符号  $S'_{t_k}$ 。假设  $N_c$  为 CP 的长度, 有:

$$S'_{t_k} = \sum_{i=1}^{N-1} S_{m_i} \exp\left(j \frac{2\pi i k}{N}\right) \quad (k = N_c - 1, N_c - 2, \dots, 0, 1, \dots, N-1) \quad (3)$$

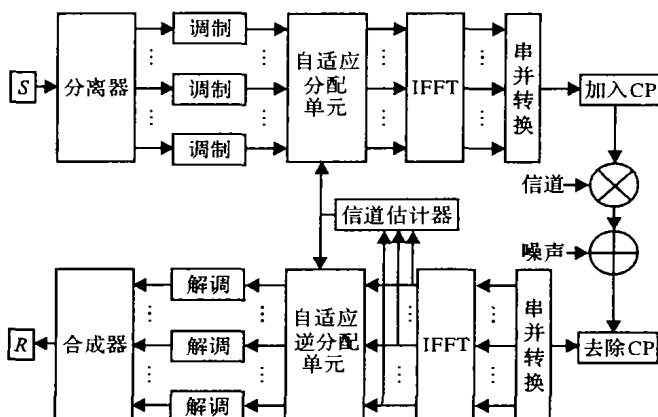


图1 系统模型

为了建立室外无线信道的仿真环境, 采用了由美国高级电视技术中心 (Advanced Television Technology Center, ATTC) 提供的典型数字电视信道。(4) 式给出了该信道的时域冲击响应 (CIR)<sup>[8]</sup>。信道的频域传输函数如图 2 所示。由图可见, 信道的频率选择性导致不同的子信道经历的衰落是不同的, 文中假定信道为慢衰落信道。

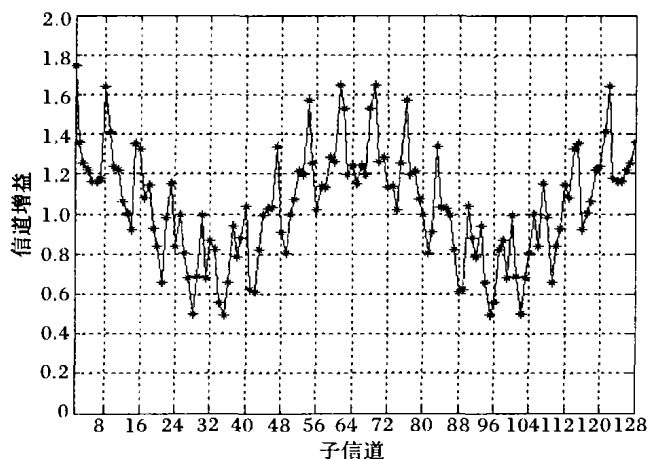


图2 典型频率选择性衰落信道

$$h[n] = \delta[n] + 0.3162\delta[n-2] + 0.1998\delta[n-17] + 0.1296\delta[n-36] + 0.18\delta[n-75] + 0.18\delta[n-137] \quad (4)$$

接收端经过去除循环前缀和 FFT 之后的数据再送往自适应逆分配单元的同时被用于信道估计。在逆分配单元中数据将经历与分配单元相反的处理过程, 而信道估计器将得到的信道状态信息分别送给分配单元和逆分配单元。假设信道估计是理想的并忽略计算和传输 CSI 的时延。接收图像将在数据解调后重构。

## 2 自适应技术与图像信源分割

### 1) OFDM 系统中的自适应信道分配技术

OFDM 技术可通过将信道分成若干个重叠部分并用平坦衰落子信道的方法实现串行数据的并行传输。由于子信道中, 并行符号的周期为串行符号周期的  $N$  倍 ( $N$  为子信道的个数), 因此容易实现符号周期远远大于信道记忆长度的要求。再加之选择性传输 (关闭处于深衰落中的子信道) 的方法, OFDM 技术具有良好的频率选择性免疫和提高系统性能的能力。虽然信道分割技术被用于 OFDM 技术之中, 由于频率选择性的影响, 不同子信道仍会拥有不同的信道增益。当固定调制方式的数据在该信道中传输时, 各个子信道的性能是不等的。处于较好子信道中的数据在接收端会有一个较好的 BER 性能, 而相对较差子信道中的传输数据则会出现较高的比特错误率。

因此, 我们需要采用自适应技术, 根据信道的传输特性更加合理的利用子信道传输不同重要等级数据。这里假设信源根据不同的传输要求被分成  $N_g$  (大于零的整数) 组, 经信道估计器估计出的信道同样需根据其频域各子信道的衰落特性分成相应的组数。此后, 系统只需根据信源数据不同的传输要求和 HVS 特性, 把具有不同重要等级的数据送入相应等级的子信道中去, 从而完成自适应子载波分配工作。

### 2) 图像信源分割方法

虽然用于实现不同重要等级数据传输的方式有很多, 但多数是根据不同的视觉影响效果将图像划分成若干区域。例如 Lenna 图像, 人们总希望保护图像中人物脸部的像素值, 并将这一区域的数据设置为重要等级, 在传输中重点保护, 而将背景区域的等级设置较低。我们将这种方法称为区域分割。它的优点是分割简单且易于实现。然而利用这种方法分割图像存在两点不足。首先, 该方法只能将噪点“推移”到重要等级相对低的区域中去, 并没有从本质上减少被噪声失真的像素的灰度级; 其次, 缺乏灵活性。如果信源图像发生变化, 分割方式也必需随之实时的改变, 这显然是行不通的。

因此, 我们提出了一种新的分割方法, 分割对象不再是整幅图像, 而是图像中表示每一个像素的字节, 称之为字节分割。为了表示接收图像的质量, 引入了峰值信噪比 PSNR 和最小均方误差 MSE 两个参数:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} (f(x, y) - \hat{f}(x, y))^2 \quad (6)$$

其中  $N_x$  和  $N_y$  分别表示图像的长和宽。  $f(x, y)$  和  $\hat{f}(x, y)$  代表原始图像和接收图像中的像素值。可见, PSNR 的值越高代表接收图像的质量越好。

假设信源采用位深度为 8, 灰度级为  $2^8 = 256$ ,  $256 \times 256$  大小的 bmp 格式图像。  $P_i$  代表一像素,  $V_{P_i}$  为像素的值, 有:

$$V_{P_i} = \sum_{j=1}^8 b_j \times 2^{8-j} \quad (7)$$

由于图像在信道中传输的基本单位是比特, 从式 (7) 可见, 当  $b_m$  或  $b_n$  ( $m \neq n$ ) 在传输中发生错误时, 像素产生的灰度级损失是不同的。从中可得到这样一个启发: 如果将表示一个像素的字节分成 8 个比特, 根据每一个比特不同的权值将

其分为不同重要等级的数据,然后用较好的子信道传输权值高的比特,较差的子信道传输权值低的比特,理论上将得到相对于区域分割更好的 *PSNR* 值。然而该方法的代价是提高了信源分割与信宿重构的实现复杂度。

3) 本文方法

为结合区域分割与字节分割两种方法的优势,在提高图像主观效果及 *PSNR* 的前提下,尽可能小的增加信源分割与信宿重构复杂度。本文提出一种将区域分割与字节分割以及 HVS 特性相结合新方法。

根据 HVS 特性,人眼处于不同区域的像素敏感度存有差异。因此处于不同区域的像素值在信道中传输时其重要等级是不同的。根据这一特点,可以将整幅图像分为 3 个部分:边缘区、平滑区和纹理区。然后,再将处于不同区域代表一个像素的字节进行分割,实现与字节分割方法的结合。这里,边缘区定义为图像中包含轮廓细节的像素群;平滑区定义为灰度级差不大于 16 的像素群;纹理区则为灰度级差大于 16 的像素群。为了简单描述该分割方法,我们假设根据字节中比特的不同权值,将其分为两个部分。然后,综合考虑区域分割与字节分割的影响,为其寻找一个折中方案并合理设定不同数据组的重要级别。最后,将不同等级的数据组送入性能不同的子信道中传输。表 1 给出了等级确定的具体方法。

表 1 等级确定方法

重要等级	数据
1	边缘区 (高四位) 平滑区 (高四位)
2	纹理区 (高四位) 平滑区 (低四位)
3	边缘区 (低四位) 纹理区 (低四位)

3 仿真结果与分析

仿真中采用了 128 个子信道、方型 16QAM 星座图,并将三幅区域比例互异的图像作为信源。表 2 给出了三幅图像中,边缘区、平滑区和纹理区各自在图像中占有的百分比。

表 2 三个区域所占比例

图像源名称	边缘区	平滑区	纹理区
Lenna	20.8%	61.3%	17.9%
Mandrill	39.9%	19.1%	41%
House	34.3%	31.7%	34%

图 3 给出了没有经过图像分割和自适应信道分配的仿真结果,除接收图像外, *BER*、*SER* 和 *PSNR* 也被一并给出。由图可见,由于信道衰落特性的影响,受噪声失真的像素非均匀的散落在接收图像中。

图 4 给出了三种图像源采用自适应技术后的仿真结果。从中可见,采用本文提出的传输方案可以明显提高接收图像的主观质量,三种图像源在  $SNR = 12\text{dB}$  时接收图像的比较清晰的说明:采用自适应图像传输不仅可以有效地消除图像中受噪声污染严重的像素数目,同时还可将残余严重失真的像素点“推移”到图像中相对不敏感的区域中去,如图像中的纹理区。

图 5 给出的是各种图像源经信道传输后接收图像 *PSNR* 的仿真曲线,可见随着信噪比的不断升高,两种方式的 *PSNR* 都会有所提升,且自适应传输方式相对于传统(非自适应)方

式 *PSNR* 的增益有逐渐增大的趋势。

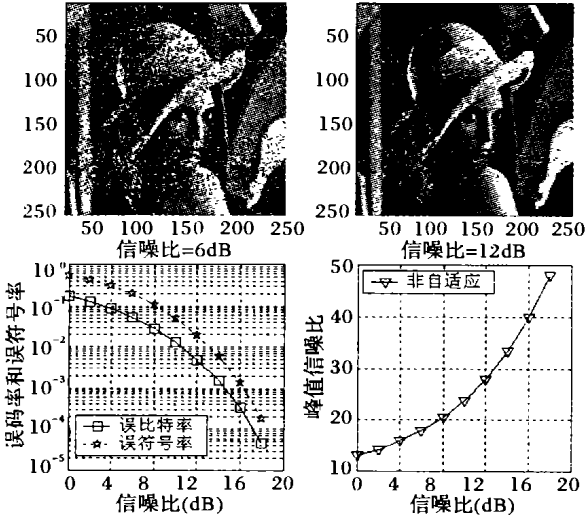


图 3 非自适应图像传输

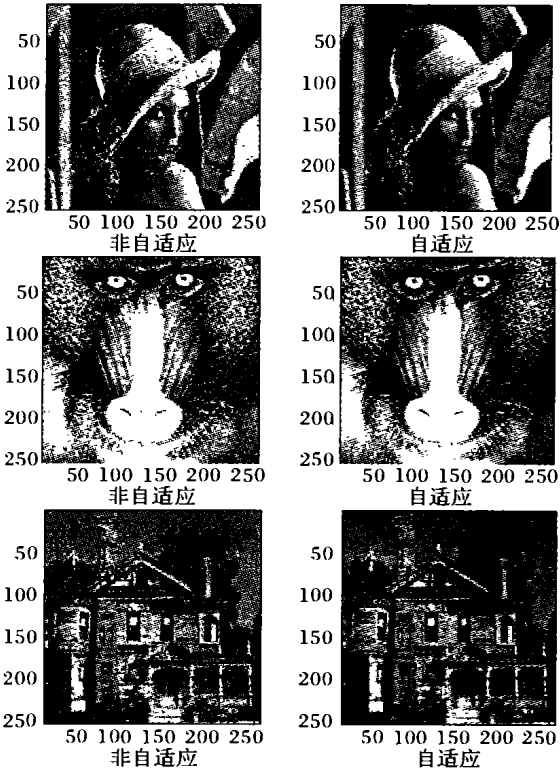


图 4 三种图像源的接收图像 (信噪比 = 12dB)

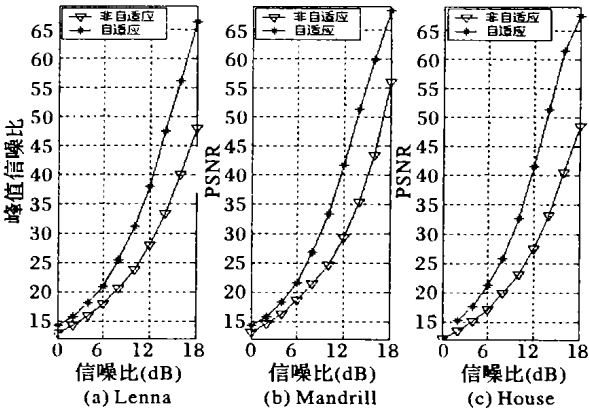


图 5 不同分割方法的 *PSNR* 比较

数”(即 recall vs scope)<sup>[16]</sup>,在考查检索效果时,用本文的方法和颜色直方图方法(CHM)进行了比较。

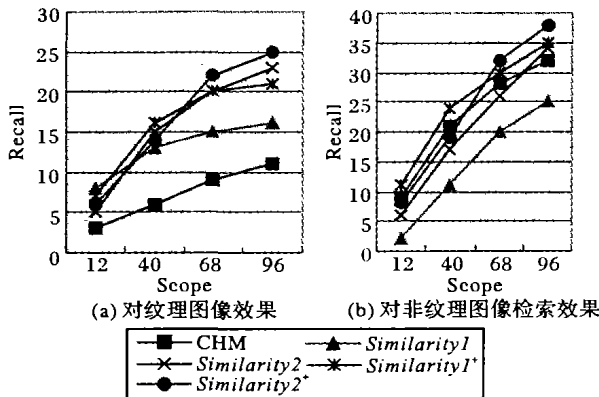


图1 各种相似度的检索结果比较

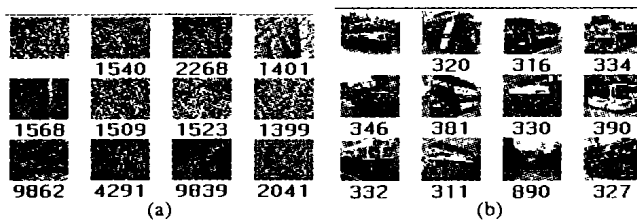


图2 使用相似度 Similarity2\* 进行查询的结果

图2 为使用相似度 Similarity2\* 进行两次查询后分别返回的前 11 幅图像,各自的左上角图像为查询图像。从图 1 可以看出,在对 CRML 作了累积变换后,文中提出的两种图像相似度在检索效果上比累积前的两个相似度更稳健。

## 5 结语

相对于 CHM,本文提出的方法对纹理图像检索具有较好的检索效果(见图 1(a)),这说明基于游程矩阵的特征描述和本文所定义的两相似度对纹理图像的检索是恰当的;而对非纹理图像,相对于 CHM 来说检索效果不是很好(见图 1(b)),其原因可能是基于游程的描述仅仅是对二维图像所作的一维描述,在把握目标形体方面其能力是有限的。

### 参考文献:

[1] JAMSHID S. Image Indexing and Retrieval Techniques: Past, Pres

ent and Next[A]. Proc SPIE Vol 3972 Storage and Retrieval for Media Databases[C], 2000. 461-470.

[2] SCHETTINI R, CIOCCA G, ZUFFI S. A Survey of Methods for Colour Image Indexing and Retrieval in Image Databases[A]. Color Imaging Science: Exploiting Digital Media[C], 2001. 183-211.

[3] 王惠峰,孙正兴,王剑. 语义图像检索进展[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(5): 513-523.

[4] IDRISSE K, RICARD J, ANWANDER A. An Image Retrieval System Based on Local and Global Color Descriptors[J]. IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia, 2001: 55-62.

[5] ZHOU Q, CELENK M. Color-Invariant Shape Moments for Object Recognition[J]. SPIE, 2001, 4304: 7-17.

[6] RAO AB, SRIHARI RK, ZHANG ZF. Spatial Color Histograms for Content-Based Image Retrieval[A]. ICTAI[C], 1999. 183-186.

[7] Messing, D. S. van Beek, P. Errico, J. H. The MPEG-7 Colour Structure Descriptor: Image Description Using Colour and Local Spatial Information[A]. Image Processing[C], 2001. 670-673.

[8] ZHU L, TANG C, ZHANG AD. Using Keyblock Statistic to Model Image Retrieval[J]. IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia 2001: 522-529.

[9] CHAN KL, XIONG XJ, LIU F et al. Content-Based Image Retrieval Using Regional Representation[A]. Theoretical Foundations of Computer Vision[C], 2000. 238-250.

[10] BHALOD J, FAHMY GE, PANCHANATHAN S. Region Based Indexing in the JPEG2000 Framework[J]. Proc SPIE, 2001, 4915: 91-96.

[11] 孙兴华,郭丽,等. 基于目标区域的彩色图像检索研究[J]. 计算机研究与发展. 2001, 38(9): 1112-1120.

[12] TANG X. Texture Information in Run-Length Matrices[J]. IEEE Transactions On Image Processing, 1998, 7(11): 1602-1609.

[13] CHAN YK, CHANG C. Image Matching Using Run-Length Feature[J]. Pattern Recognition Letters, 2001, 22(5): 447-455.

[14] COOHARJANANONE N, AIZAWA K. A New Simlity Measure for Color Image Indexing[J]. SPIE, 2001, 4315: 0277-786.

[15] ZHANG YJ, LIU ZW. Color Based Image Retrieval Using Sub Rang Cumulative Histogram[J]. High Technology Letters, 1998, 4(2): 71-75.

[16] QIAN F, ZHANG L, LIN F, et al. FBCC: An Image Similarity Algorithm Based on Regions[A]. IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia[C], 2001. 740-747.

(上接第 337 页)

## 4 结语

本文提出了一种多载波传输系统中自适应图像传输的方案,通过将区域与字节分割技术相结合并综合考虑人眼 HVS 特性的方法,实现在 OFDM 系统中自适应地高质量图像传输。根据仿真结果和理论分析得出如下结论:

1) 通过将区域与字节分割相结合并综合考虑 HVS 特性,进行自适应图像传输的方法,可实现在频率选择性衰落信道中,接收端传输图像 PSNR 值的大幅度提升。

2) 与传统传输方法相比,采用本文提出的自适应方案传输图像, PSNR 的增益有随 SNR 的增高而增大的趋势。

### 参考文献:

[1] GHARAVI H, NG WY. H. 263 compatible video coding and transmission[A]. Proc Workshop on wireless Image/Video Commun [C]. Loughborough UK, 1996. 115-120.

[2] ZHU YM, SHAN XM, YONG R. A Power Efficient Adaptive Mod-

ulation Scheme over Fading Channel[J]. IEEE 2002 International Conference on, 2002, 1: 257-261.

[3] ARMANIOUS E, FALCONER DD, YANIKOMENOGLU H. Adaptive modulation, adaptive coding, and power control for fixed broadband wireless systems: some new insights[J]. IEEE, WCNC, 2003, 1: 238-242.

[4] SCHURGERS C, SRIVASTAVA MB. Energy efficient wireless scheduling: adaptive loading in time[J]. IEEE, WCNC, 2002, 2: 706-711.

[5] WEINSTEIN SB, EBERT PM. Data transmission by frequency-division multiplexing using the discrete Fourier transform[J]. IEEE Trans Commun Tech, 1971, 19: 628-634.

[6] NEE RV, AWATER G, MORIKURA M, et al. New high-rate wireless LAN standards[A]. IEEE Commun Mag[C], 1999. 82-88.

[7] WANG XY, YANG HY. A Fast Image Coding Algorithm Based on Human Visual System[J]. Journal of Software 2003, 14: 11.

[8] YEHS CS, LIN YY. Channel Estimation Using pilot Tones in OFDM systems[J]. IEEE Trans on Broadcasting, 1999, 45: 400-409.