

文章编号:1000-582X(2003)08-0056-04

# OFDM 系统中的混合 ARQ 结构及性能仿真<sup>\*</sup>

何先刚<sup>1</sup>, 夏万林<sup>1</sup>, 聂永萍<sup>1</sup>, 张忠培<sup>2</sup>

(1, 重庆邮电学院, 重庆 400065; 2, 清华大学 电子工程系, 北京 100084)

**摘要:**研究了正交频分复用(OFDM)下行链路的混合自动重传请求 HARQ(Hybrid Automatic - Repeat - Request)技术, 结合自适应编码调制 AMC(Adaptive Modulation and Coding), 给出了多用户环境下 HARQ 传输体制及仿真性能。为了保证一定服务质量下提高整个系统的频谱效率、数据通过率, 通过 AMC 实现编码调制方案的粗调, HARQ 实现 AMC 进一步细调, 从而使整个系统性能达到最优。

**关键词:**混合自动重传请求(HARQ); 正交频分复用(OFDM); 自适应编码调制(AMC)

**中图分类号:** TN76; TN911

**文献标识码:** A

正交频分复用(OFDM)是多载波调制(MCM)技术的一种, 是将载波划分为多个并行子载波的传输方法, OFDM 技术以其抗多径衰落、高的频谱利用率, 均衡简单等诸多优势, 被认为有希望成第 4 代(4G)移动通信的关键技术, 特别是 OFDM 与 CDMA 的结合, 成为人们的研究热点<sup>[1]</sup>。为了提高整个系统的性能, 引入了自适应编码调制(AMC)技术<sup>[2-3]</sup>, 但它需要较大的反馈重传量开销; 另一种保证服务质量的方式是通过混合自动重传请求(HARQ)方式<sup>[4]</sup>, 将出现差错的帧通过重传在不同频段上得到补偿, 减小 AMC 对信道估计的敏感性, 特别是在信道难于精确估计的情况下。

HARQ 是一种隐含的链路自适应技术, 根据链路层的确认信息作为重传判据。HARQ 目前有几种不同的混合方式<sup>[5]</sup>: Chase 合并<sup>[6]</sup>、变速率穿孔 Turbo 码<sup>[7]</sup>、增加冗余 3 种方法。增加冗余或 HARQ - II 方法不是简单重传整个有错误码的数据包, 而是每次在重传中增加冗余信息, 且每次重传的冗余信息都能自身单独译码。Chase 合并通过在接收端根据信噪化(SNR)加权每一个传输包的多个拷贝而得时间分集增益, 而 HARQ - II 在每一次传输中用不同的删除比特来增加冗余进行译码。选择 HARQ 的机制也是非常重要的, 目前有 2 种主要的 ARQ 机制, 选择重传(SR)与停止等待(SAW) 2 种方式, 其中 SR 只是将错误的块进行重传, 它需要一个序列号来标识这些块, 这个序列号必须与数据分开编码, 并且能克服各种信道条件

保证序列号是可靠的, 它需要用纠错能力较强的分组码来编码序列号, 增加了信号带宽的要求。SAW 是一种简单的重传方式, 只有较小的开销, 在 OFDM 系统中, 在等待时间内, 时频单元可以用来为其他用户服务, 提高系统的利用率。

在 HARQ 与自适应编码调制相结合后, 编码效率的调整通过 AMC 完成, 在进行 ARQ 控制时, 为使系统简化, 采用了每次重传相同的信源比特及相同的编码调制方式, 并用 Chase 合并的方法实现 HARQ 的最大似然合并方式, 以简化系统的实现复杂度, 提高译码性能。

## 1 Chase 合并算法

Chase 合并<sup>[6]</sup>是 1985 年由 D. Chase 提出的一种重传编码合并方法, 它是将每次重传数据解调后的软信息通过加权合并, 得到一个码率更低的码字, 从而得到一个更有效的差错控制编码, 达到了信道误码率超过 50% 时还能可靠通信的目的。合并译码方式如图 1 所示。这种合并方式的简单情况就是每次加权系数相同。它的 2 个典型特征是:

1) 最大似然译码, 而不是通过最小码字距离代数译码, 对于一个码率为  $R$  的码字, 在接收端通过  $L$  个噪声包合并后, 得到一个相当于码率为  $R/L$  的低码率码字。

2) 通过传输可靠性(每一个包的软判决)对每一个包进行加权。

\* 收稿日期: 2003-06-05

基金项目: 国家自然科学基金(69831030)资助项目; 重庆邮电学院科技基金资助(A2001-33)

作者简介: 何先刚(1969-), 男, 四川大竹县人, 重庆邮电学院工程师, 在职硕士生, 主要从事信号与信息处理, 信息安全等研究。

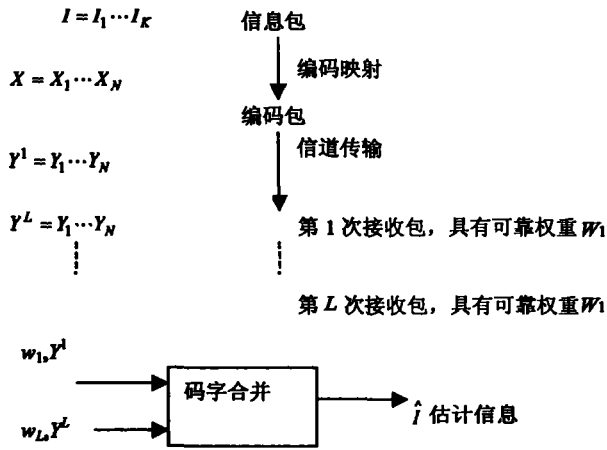


图 1 Chase 合并原理图

## 2 软解调输出

Turbo 编码调制采用的是 S. G. Loff 等<sup>[8]</sup> 提出的二进制 Turbo 码级联格雷映射多进制调制的结构。其编码调制结构参见图 2。

为了提高译码性能与实现 chase 合并, 在解调器输出, 要求得到软解调信息。在相干接收时, QAM 调制的解调输出  $X_k, Y_k$  可表示为:

$$X_k = \alpha_k A_k + I_k \quad Y_k = \alpha_k B_k + Q_k \quad (1)$$

式(1)中,  $\alpha_k$  为瑞利衰落的 Rayleigh 随机变量,  $\{A_k, B_k\}$  为发射星座点对应的实数值;  $I_k, Q_k$  为具有零均值、方差为  $\delta_N^2$  的非相干独立噪声, 由  $\{A_k, B_k\}$  得到信源  $u_{k,i}$  的似然值:

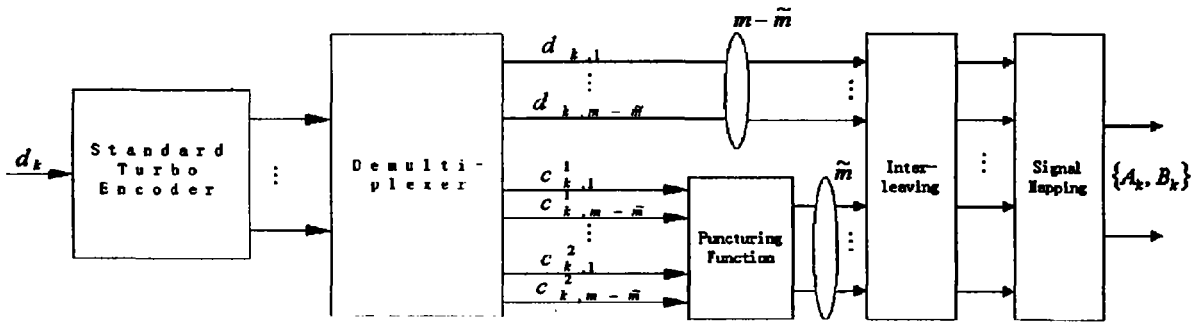


图 2 Turbo 编码调制结构图

$$\Lambda(u_{k,i}) = K \log \frac{P_r\{u_{k,i} = 1 \mid X_k, Y_k\}}{P_r\{u_{k,i} = 0 \mid X_k, Y_k\}} \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

式(2)中,  $K$  为常数。由于要计算  $n$  个量  $\Lambda(u_{k,i})$  比较复杂, 必须要进行简化, 在只考虑平方 M-QAM 星座时, 有  $M = 2^n$ , 在  $n = 2P$  的条件下的高斯信道可简化为:

$$\Lambda(u_{k,i}) = K \log \frac{\sum_{i=1}^{2^{p-1}} \exp\left\{-\frac{1}{2\delta_N^2}(X_k - a_{1,i})^2\right\}}{\sum_{i=1}^{2^{p-1}} \exp\left\{-\frac{1}{2\delta_N^2}(X_k - a_{0,i})^2\right\}}, \quad i = 1, \dots, p \quad (3)$$

式(3)中,  $a_{1,i}$  和  $a_{0,i}$  表示符号  $A_k$  在  $u_{k,i} = 1$  和  $u_{k,i} = 0$  条件下的转换值。对于  $u_{k,i+p}$  ( $i = 1, \dots, p$ ), 其似然值  $Y_k$  的表达式与式(3)类似, 只不过将  $X_k$  换成  $Y_k$ , 将  $a_{1,i}$  与  $a_{0,i}$  换成  $b_{1,i}$  和  $b_{0,i}$ ,  $a$  与  $b$  是星座图投影到  $X$  与  $Y$  轴上的值。

## 3 ARQ 方案

基于 SRW 的 ARQ 方案, 在发送端有多个状态控制机, 在每次传输以后, 等待确认信息, 只有等到确认信息(ACK)以后, 才传下一帧数据; 如果在一个往返

传输时间(trip time)内没有得到确认信息, 或得到数据帧有错误比特的(NACK)信息时, 都要重传已经传送的那一帧数据。HSDPA<sup>[4]</sup> 的典型 SAR 结构如图 3 所示。图中采用 4 个 channel 是指 4 个码道并行传输的结果。第一个用户的第二个码道数据包没有得到确认信息, 需要重传。图 3 中是一用户占用多个码道的情形, 如果是一个用户只有一码道, 如图 3 中的用户 2, 只有等到这个码道的确认信息以后, 再传一个数据包。

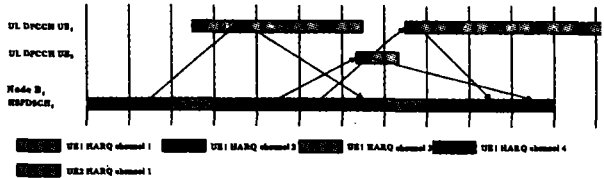


图 3 SAR 的传输结构

基于 OFDM 的下行 ARQ 结构如图 4 所示, 表示一个占用整个 OFDM 符号子带, 多址方式为时分方式的情形。在图 4 的方案中, 每次重传时所有的编码调制可以是不一样的, 并且可以采用增加冗余的方法实现。每次数据传输时应采用的编码调制方式由 AMC 根据信道参数决定, 在接收端通过 CRC 校验来检测译码后的数据是否有错误, 同时, 通过有限次重传的方法, 避免因深度衰落引起的不能通过 Turbo 码正确译码的数据

帧造成的锁死。在接收端,当正确接收数据或重传次数达到规定次数时,对似然值存储器进行清零。图4只画出了单个用户接收的情况,多个移动端用户的接收结构是类似的。

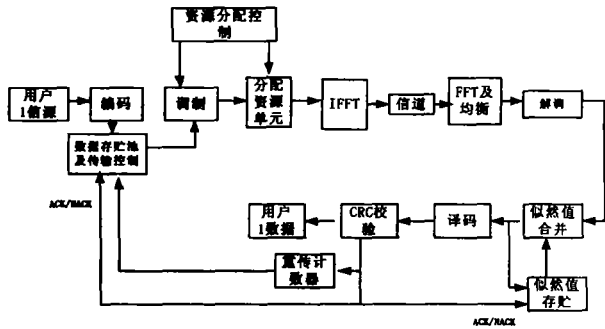


图4 基于OFDM下的HARQ结构

在新一代无线传输体制系统中,可以用一个时隙或多个时隙作为一个传输时间间隔(TTI),一个时隙有8个OFDM符号。仿真结果按图4建立仿真模块。由于多个用户接收的ARQ性能与单个用户是相近的,所以,在本节详细仿真了单个用户占用所有子带,通过所有子带进行信道参数平均,由平均的信道参数进行编码调制自适应。仿真所用信道为4径多普勒时变模型,OFDM符号子载波数为1024,按每一个OFDM符号进行ARQ控制,用 $f_d$ 表示信道多普勒时变大小, $T_s$ 为一个OFDM符号周期时间。在设置AMC门限时,不能单从AMC的角度分析,CRC能检查出一个OFDM符号中的某一个错误,如果门限设得较低,会引起较大概率的重传,反而影响整个系统的通过率,如果门限设得较高,对系统的频谱效率有一定损失,因此,在系统中要取一折衷较好值。

在图4中,由于每一次用户所占的时频资源与调制编码方式不一样,在发送数据时的状态与接收到反馈响应时的信道参数状态可能已经发生变化,这样原来一个ARQ数据单元对应的调制符号数在下一个时刻会发生变化,并且没有办法实现混合译码,因此,按传统的混合ARQ方法用在这里就会有困难。最简单实用的方法就是每次传的数据的调制编码格式是一样的,就可直接进行似然值相加,进行译码;另一种方法就是每次传的数据不是一样的,通过增加校验位方法的混合ARQ,或者每次都能进行自译码的混合ARQ型,只不过在重传中,第一次以后重传数据量要小于第一次传输的数据量,避免由于信道容量的降低引起的传输能力降低的情况。

#### 4 仿真性能

仿真中的Turbo码的生成多项式为[37,21],CRC为16个校验比特,生成多项式为: $G(D) = D^{16} + D^{12} + D^5 + 1$ ,AMC的门限设置见表1、表2所示,编码器输出

数据根据编码帧的长度增加信道交织器,来对抗频率选择性衰落。表1、2中的2、3、4、6调制方式分别代表QPSK,8PSK,16QAM,64QAM调制方式。当信道参数时变增加时,会破坏子载波间的正交性,引入OFDM载波间干扰,增加了信噪比估计与实际系统信号干扰比的差异,如果用相同的AMC调制门限,会使ARQ重传概率非常高。因此,在仿真中采用了2套AMC门限的方法,当信道时变继续增加,会使信道跟踪变得困难。因此,当信道时变较快时,AMC的作用就会消失,这时,只用HARQ技术对于有误码的数据帧进行重传。

表1 门限设置1

SNR/dB	$-\infty$	$\sim -1.2$	2.2	5.2	8.4	11.8	15.1	19.1	$\sim \infty$
rate	0	1/4	1/2	1/2	1/2	3/4	2/3	3/4	
Mod.	0	2	2	3	4	4	6	6	

表2 门限设置2

SNR/dB	$-\infty$	$\sim 2.2$	5.2	8.4	11.8	15.1	22.1	22.1	$\sim \infty$
Rate	0	1/4	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	2/3	
Mod.	0	2	2	3	4	4	4	6	

在 $f_d T_s$ 大于0.05以后选用门限2,在不同的调制方式,与OFDM符号相对应的调制符号数相等,在每一OFDM符号内可传输的比特数是不同的,编码的数据帧长度也不同。相应的信道交织器大小也不相同。仿真中的2个参数定义如下(见图5、图6):

- 1) 平均通过率:在不同的信噪比下,接收端正确接收的总比特数与发送端传输的总比特数之比。
- 2) 平均频谱效率:平均通过率与编码效率、调制比特数的乘积。

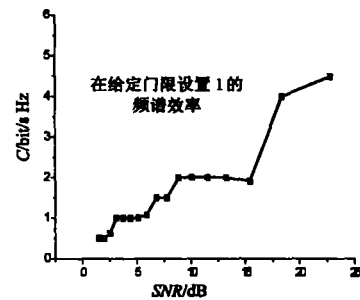


图5  $f_d T_s = 0.01$  时的频谱效率

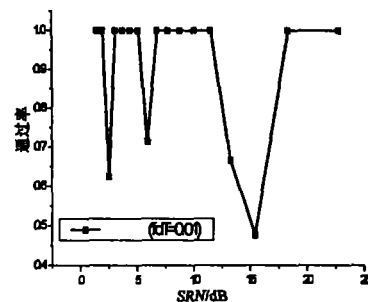


图6  $f_d T_s = 0.01$  时的通过率

从图5、图6可看出,在AMC的门限位置处通过率较低,说明在这些位置上出现了重传,即使出现了重传,但从频谱效率上来看,并没有降低,只是AMC门限增加出现频谱效率增加通过重传又降低了。

由于载波间干扰的存在,会导致系统通过率的降低,同时,由于没有采用导频进行信道估计,使载波间干扰程度无法估计,使得用理想信道参数估计出的信道信噪比实际的信噪比高,采用自适应时选择的调制编码比实际系统的传输能力偏高,就导致了较低的系统通过率与频谱效率。图7、图8是采用门限2,不同的 $f_d T_s$ ,以及有没有AMC时的性能比较,当 $f_d T_s = 0.05$ 时,由于门限升高,系统通过率出现较大提高,但频谱效率与较小 $f_d T_s$ 比较,已有所降低。在 $f_d T_s = 0.08$ 时,由于此时载波间干扰已经较强,频谱效率与通过率已有较大降低;在没有自适应时,采用1/2码率的Turbo编码,16QAM调制,在SNR较高时,通过率较高,SNR较低时,通过率降低。同时,频谱效率比有AMC时相比都有所降低。

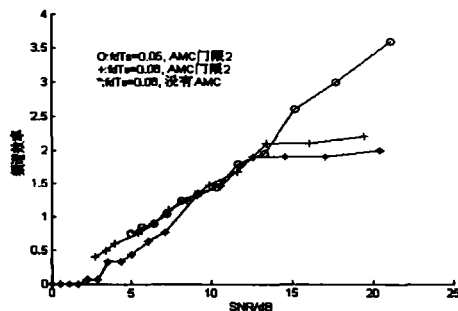


图7 不同 $f_d T_s$ 下的频谱效率比较

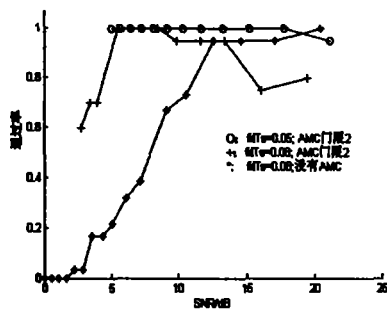


图8 不同 $f_d T_s$ 下的通过率比较

## 5 结论

笔者研究了OFDM系统的HARQ技术,结合自适应编码调制,能取得较高的频谱效率与系统通过率,由于OFDM系统的载波间干扰存在,对于信道时变的情况,采用了不同门限的方法进行自适应。对于移动端高速运动时,进行自适应编码调制带来的增益较小,在这种情况下,由于信道时变,很难进行信道参数的反馈,所以,在高速移动速率下,应该有较好的载波间干扰消除方法,并不需进行AMC,由HARQ实现通信质量保证。

### 参考文献:

- [1] 李向宁,谈振辉. OFDM基本原理及其在移动通信中的应用[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版),2003,5(2):25-30.
- [2] KELLER T, HANZO L. Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission[J]. IEEE Trans. Vehi. Tech, 2000,49(9):1 893-1 906.
- [3] KELLER T, MATTHIA M, LAJOS H. A Turbo-coded burst-by-burst adaptive wide-band speech transceiver[J]. IEEE JSAC,2000,18(11):2 363-2 372.
- [4] PRASAD A R, SHINOHARA Y, SEKI K. Performance of Hybrid ARQ for IP Packet transmission on fading channel[J]. IEEE Trans. Vehi. Tech,1999,48(3):900-909
- [5] 3GPP, HSDPA standard, 3G TR25.848 V0.4.0[S]. 2001.
- [6] CHASE D. Code combining - A maximum-likelihood decoding approach for combing an arbitrary number of noisy packets[J]. IEEE Trans. On Comm. 1985,33(5):385-393.
- [7] TINGFANG J, WAYNE E S. Turbo-code ARQ schemes for DS-CDMA data networks over fading and shadowing channels: throughput, delay, and energy efficiency[J]. IEEE JSAC, 2000,18(8):1 355-1 364.
- [8] GOFF S L, GLAVIEUZ A, BERROU C. Turbo-codes and high spectral efficiency modulation [C]. in proce ICC, 1994. 645-649.

## Hybrid ARQ Structure and Performance Simulation for OFDM Systems

HE Xian-gang<sup>1</sup>, XIA Wan-lin<sup>1</sup>, NIE Yong-ping<sup>1</sup>, ZHANG Zhong-pe<sup>2</sup>

(1. Chongqing University of Posts and Telecommunication, Chongqing 400065, China;

2. Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Hybrid ARQ structure is studied for OFDM down link. Combining with adaptive modulation and coding, the scheme of HARQ is given for multi-user system. With the scheme, AMC can provide coarse adjust modulation and coding levels, and Harq technique provide exactly adjustment, which can improve frequency effecton, increase throughput and provide quality of server.

**Key words:** hybrid ARQ; OFDM; adaptive modulation and coding

(编辑 吕赛英)