

新型的基于信道状况的自适应 HARQ 方案

刘 锋¹, 黄生叶¹, 冯穗力², 叶 梧²

LIU Feng¹, HUANG Sheng-ye¹, FENG Hui-li², YE Wu²

1. 湖南大学 计算机与通信学院, 长沙 410082

2. 华南理工大学 电子与信息学院, 广州 516000

1. College of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082, China

2. College of Electronic and Information, South China University of Technology, Guangzhou 516000, China

E-mail: liufengxtu@163.com

LIU Feng, HUANG Sheng-ye, FENG Hui-li, et al. Novel adaptive HARQ system based on channel condition. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(8): 99-102.

Abstract: An HARQ scheme is proposed based on channel condition. It utilizes the last successful transmission needed retransmission time and estimate channel information from initiating terminal fully to estimate the channel condition, and use it to estimate the possibility retransmission time K of the next transmission data frame to be successfully accepted. The primary transmission information and K times Incremental Redundancy (IR) information are sent to the acceptance end at one time, try best to transmit the data successfully at one time. The time of startup retransmission protocol to transmit incremental redundancy information because of error transmission is decreased. Simulation shows that the new mechanism has the same throughput but reduces the transmission delay and is easy implemented.

Key words: Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ); throughput rate; transmission delay; channel condition

摘 要: 基于信道状况提出自适应的混合自动重传请求(HARQ)方案。充分利用发送端获得的上次成功传输时重传的冗余信息次数和信道估计的信息,判断当前的信道状况,由此确定当前发送的数据帧被成功接收可能需要重传的次数 K ,将初传信息和 K 次增量冗余信息一起发送给接收端译码,最大可能地一次性将数据发送成功,减少传输出错再启动重传协议发送增量冗余信息的次数。仿真表明,新的方案在吞吐率基本不变的情况下,传输延时降低,易于实现。

关键词: 混合自动重传请求;吞吐率;传输时延;信道状况

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.08.028 **文章编号:** 1002-8331(2010)08-0099-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

1 引言

与有线通信相比,无线通信的传输环境更为恶劣,无线电波传输时会随着传播距离的增加而造成能量的损耗;无线信号在传输时会发生多径衰落;移动主机接受无线信号时会发生多普勒频移;组网时信号会受到邻近小区的 BS 和 MS 的干扰。为了提高系统的可靠传输,混合 ARQ (Hybrid ARQ)^[1] 技术是有效结合前向纠错编码(FEC)技术和自动重传请求(ARQ)协议的一种差错控制机制^[2]。它是在一个 ARQ 系统中包含一个 FEC 子系统,当 FEC 的纠错能力可以纠正这些错误的时候不用 ARQ;只有超出 FEC 纠错能力时,才通过 ARQ 反馈信道请求重发错误码组。这样,ARQ 和 FEC 的结合提供了比单独的 FEC 系统更高的可靠性,并且提供了比单独的 ARQ 系统更高的通过率^[3]。

目前常用的 HARQ 重传方式有 3 种: I 型、II 型、III 型 HARQ^[4]。I 型 HARQ 是一种信息序列及其校验位全部重传并进行码合并的系统; II 型 HARQ 是信息序列和其校验序列交替重传,与已发送的信息序列或校验序列合并译码; III 型 HARQ 是信息位和校验位按照删余矩阵部分重传。这 3 种反馈重传方式的缺点是当信道较差时,多次重传反馈过程使数据传输时延长,无法保证实时接收;接收端在不能正确译码的情况下反复反馈 NACK 信息来告知发送端重传冗余信息,反复的反馈过程增加了传输时延,因此,若能提前大致预测下次数据帧传输最有可能需要重传冗余信息的次数 K ,一次性将数据帧和 K 次冗余信息发送给接收端,减少重传冗余信息的反馈次数,能有效减少传输时延,提高系统吞吐量。特别是对于 II 型 HARQ,重传发送的冗余信息少,信道质量差时,大量的时间浪

基金项目: 湖南省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Hunan Province of China under Grant No.06JJ20030); 粤港关键领域重点突破招标项目(No.20060104-2)。

作者简介: 刘锋(1982-),男,研究生,主要研究方向: HARQ 技术、无线城域网; 黄生叶(1966-),男,教授,主要研究方向: 通信网络性能分析及优化、现代移动通信技术; 冯穗力(1955-),男,教授,博士生导师,主要研究方向: 信息网络理论与技术、多媒体信号传输与处理; 叶梧(1938-),男,教授,博士生导师,主要研究领域: 网络理论与技术,数字音/视频处理,宽带无线通信。

收稿日期: 2008-09-02 **修回日期:** 2008-11-21

费在请求重传冗余信息的反馈过程中,若将初始数据帧和冗余信息尽可能地一次性传输到位,能大幅度减少传输时延。基于这一状况,提出了一种新型的 HARQ 系统,不改变原来 HARQ 系统的结构,只改变重传控制器的控制流程,易于实现,信道质量好时,传输时延不变,吞吐率基本不变,当信道传输质量差时,能有效减少传输时延。

2 HARQ 方案简介

HARQ^{CS}的示意图如图 1,待发送的数据信息先经过循环冗余校验码编码,在接收端 CRC 译码成功作为传送成功的依据,然后进行前向差错控制编码,常见的有 RCPC/PCPTC(速率兼容打孔卷积码、TURBO 码)。TURBO 编码由于优异的编码性能而被第三代移动通信作为信道前向差错控制编码。文献[6]中提出了一种使用 Turbo 码的 HARQ 机制以最小的幅度递增传输校验位,直到接收端正确译码。这样传输的冗余校验比特的数目就可以最小化,从而使吞吐率达到最大。编码由两个递归系统卷积码(RSC)经交织器并行级联而成,对于设定的重传次数为 3 的 HARQ 方案得到 3 路输出,对两路校验位进行交替删除而得到不同码率的 Turbo 码。设 Turbo 编码的信息位为 I,经第一个 RSC1 编码得到的校验位为 R1,I 经交织以后送入第二个 RSC 编码得到校验位 R2。第二次重传的冗余信息只传 R1 的奇校验位,R2 的偶校验位,第三次重传只传 R1 的偶校验位,R2 的奇校验位。重传时的信息量少。在译码过程中,由硬判决得到信息帧,经 CRC 校验,若没错,将该帧提交给上层,若有错,将硬判决前的数据(用 CRI 表示)保存到缓存器中。收到第二校验帧数据时(用 RP1 表示),与 CRI 组合起来,按 1/2 码率译码,经 CRC 校验,若没错,将译码数据直接传给用户;若有错,保存译码判决前的软译码信息作为下次译码时的先验信息,并保存接收到的 RP1;收到第三校验帧时(用 RP2 表示),将 CRI、RP1、RP2 组合起来按 1/3 码率译码,并以第二次译码的软信息作为本次译码的先验信息进行译码。

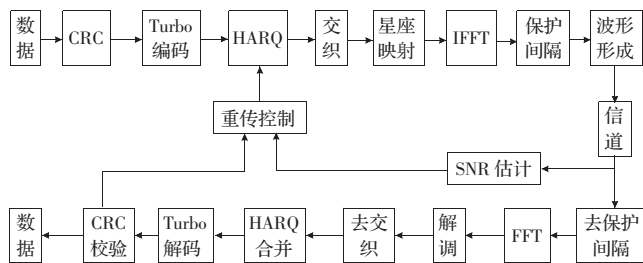


图 1 HARQ 示意图

HARQ 除了使用前向差错控制编码对抗信道差错外,还在其后的交织模块对数据进行了交织重组以提高传输的可靠性。交织是调制之前的最后一步操作,交织完成后,数据便进入星座映射模块。

交织分为以下两个处理过程:

(1)首先对数据进行一次抗突发干扰处理,将邻近的比特分散开来。设 N_{chps} 为每个子信道上的已编码比特的个数(coded bits per subchannel); N_{mod} 为所选模数; N_{cpc} 为每个子载波上的比特数(coded bits per subcarrier),这个比特数根据调制方式的不同而有所改变,对 QPSK、16-QAM、64-QAM 分别为 2、4、6; k 为第一次交织前的比特索引; m_k 为一次交织后二次交织前的比特索引; j_k 为二次交织之后的比特索引。第一次

交织由公式(1)所决定:

$$m_k = \left(\frac{N_{\text{chps}}}{N_{\text{mod}}} \right) * k_{\text{mod}(N_{\text{mod}})} + \text{floor} \left(\frac{k}{N_{\text{mod}}} \right) \quad k=0, 1, \dots, N_{\text{chps}}-1 \quad (1)$$

(2)第二步交织的作用是将数据比特比较平均地分散到符号中的各个位置中去,以消除同一符号各比特传输的译码可靠性不均的问题。第二次交织由公式(2)所决定:

$$j_k = s * \text{floor} \left(\frac{m_k}{s} \right) + (m_k + N_{\text{chps}} - \text{floor} \left(N_{\text{mod}} * \frac{m_k}{N_{\text{chps}}} \right)) \text{mod}(s) \quad k=0, 1, \dots, N_{\text{chps}}-1 \quad (2)$$

在这种传输机制中,传输规则为:第一次传送时只发送没有冗余信息的初传信息,在接收端经过各解码过程后,CRC 校验判断传输成功提交上层,没有传输成功,则启动第一次增量冗余信息重传,接收端收到增量冗余信息后与初传信息组合译码,译码后再经 CRC 校验,判断传输成功则提交,没有成功则启动第二次增量冗余信息重传,在接收端接收第二次重传的增量冗余信息后,与上次重传后没有成功译码的信息组合译码,译码后经 CRC 校验,不成功,则启动第三次增量冗余信息重传,如此继续,直到成功译码或到达最大重传次数,若到达最大重传次数还未正确译码,则接收端丢弃初传信息,发送端重新传送初传信息。

在这种规则中,当信道质量好时,能取得较好的系统传输时延和吞吐量,当信道质量差时,数据传送要靠多次启动重传控制过程来增加冗余信息,增加译码成功的概率,每一次重传过程都需要一个 NACK 的反馈时间和冗余信息的传送时间,使得传输时延非常大。为解决这一问题,提出了基于当前信道状况的两种改进的 HARQ 系统。

3 改进的 HARQ 方案

传统的 HARQ 方案的一个最大的缺陷就是不管信道好坏每次都是首先发送只有检错信息的数据帧,不能成功译码时,再启动重传机制发送冗余译码信息,一直到成功译码传送成功或到达最大重传次数,在这种传输流程下,在传输信道恶劣时,需要多次重传,使冗余信息到达一定程度才能正确译码,所以数据传输的时延非常大。在此,先预测当前帧成功传送需要多少次重传,在初传信息时将译码成功需要的重传冗余信息一并发送过去,明显地减少传输时延。文中对 HARQ 系统的结构不作改变,只改进传输控制器的相关流程,提出了两种改进的方法:第一种改进方法利用上一帧成功传送的数据帧的重传次数信息,记为 I1-HARQ;第二种方法利用信道估计单元估计的当前帧信息将传送的信道状况来预测当前帧初传时该传输的重传冗余信息次数,记为 I2-HARQ。

3.1 I1-HARQ

I1-HARQ 利用信道成功传送上一帧数据时经历的重传次数 K ,即充分利用当前的信道信息,($0 \leq K \leq N$, N 为设定的最大重传次数), K 的初值为 0,在下一数据帧传送时,将初传信息和 K 个冗余信息一次性发送给接收端进行译码。改进的重传控制器流程如图 2。具体实现如下:

(1)参数定义

成功传送重传次数 K :上一帧数据成功传送时重传的次數,重传的次數可以大致判定当前的信道质量,可以推断当前传送的数据帧也大致需要重传多少次才能将数据传送成功。

最大重传次数 N :当发送给接收端的数据和冗余信息还不

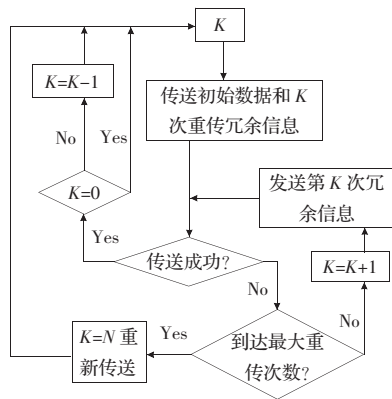


图2 改进的传输控制器控制流程

能正确译码时,就继续启动重传协议,发送更多冗余信息,加强译码能力,但必须设定一个最大重传次数 N ,以防初传太差传送更多冗余信息也不能成功译码,如重传冗余信息的次数超过 N ,就丢弃已传送的没有译码成功的数据信息,即该帧丢弃,重新传送该数据帧。

(2) 传输规则

①第一次传送数据帧初传时, $K=0$, 只传送初传数据信息和校验码,而不传送重传冗余信息。当不是第一次传送数据帧,若上一次传送数据成功时,重传次数 $K=0$,则与第一次传送时一样,若 $K>0$,则将初传信息和 K 次重传的冗余信息一起传给接收端。

②当传送过来初始信息和 K 次重传冗余信息后,如果组合译码成功,则设定 K 的值,准备下一帧数据传输, K 的设定规则为:若 $K>0$,则 $K=K-1$;若 $K=0$,则 K 不变。如果没有成功译码,若 $K<N$,则启动重传,重传第 $K+1$ 个冗余信息,重传一次以后 $K=K+1$;若 $K=N$,则达到了最大重传次数,丢弃前面所有没有成功译码的信息并设 $K=N$,重传该数据的初传信息和增量冗余信息。直到接收端正确译码。

3.2 I2-HARQ

因为 HARQ 系统中的交织器能使长突发误码随机化从而可以应对随机突发错误,因此发送端能够完全或部分获得状态信息。对于采用时分双工模式的系统,下行的信道状态信息可通过对上行进行信道估计获得,还可通过高质量的反馈信道获得信道状态信息值。可以根据反馈的信道状态信息,通过仿真按信道状况来确定最佳的初传译码成功需要的重传冗余信息的次数和信道状态的关系。

I2-HARQ 的传输规则如下:

(1)根据上行的信道估计得到当前帧发送时的信道状态,确定初传时传送重传冗余信息的次数。在设定的最大重传次数为 5 的 HARQ 方案中,初传时传送冗余信息次数 K 与信道的信噪比为 X dB 时的关系见表 1。

表1 信噪比与初传时发送冗余信息次数的关系

K/dB	<2	2~3	4~6	6~8	>8
X 次	4	3	2	1	0

(2)如果在初传时发送了 K 次重传冗余信息。在接收端成功译码,则发送下帧数据信息。

(3)如果译码错误,重传次数小于设定的最大重传次数,则发送 NACK 反馈信息,发送端传送第 $K+1$ 次冗余信息。直到译码成功或达到最大重传次数,到达最大重传次数没有成功译码

时丢弃已发送的信息,重新发送该数据帧。

在这两种改进的控制器流程中,当信道状况差时,由于初传时传了 K 次冗余增量信息,可以减少 K 次重传冗余信息的过程,有效减少传输时延。

4 性能分析和仿真

4.1 评价指标

该文参照的 HARQ 方案为文献[7]中引入了 Turbo 码的方案,主要通过吞吐率(η)^[8]、重传时延来比较性能的优劣。吞吐率 η 指的是接收端正确接收数据帧时,帧中信息比特的数目 N_{rec} 和发送端发送所有比特总数 N_{trans} 的比值:

$$\eta = \frac{N_{rec}}{N_{trans}} = \frac{N_{rec}}{\sum_{i=0}^{M-1} N_i(1-p_i) + N_M P_M} \quad (3)$$

式中 N_{rec} 表示接收端正确接收的信息比特数; N_{trans} 表示发送端实际发送的比特总数。其中考虑了 CRC 校验比特、循环前缀及编码器拖尾比特的影响。设经过 M 次重传,接收端可以正确译码。其中, p_i 表示第 i 次重传正确接收数据的概率; N_i 表示第 i 次重传的比特数。初传信息为信息比特(k 位)和 CRC 校验比特(r 位)($N_0=k+r$),由于编码译码过程未做改变,吞吐率基本不变。传输时延一般由重传次数来决定,由于新的方案考虑到信道状况在信道质量差时在初传中传输了 K 次重传冗余信息,在信道质量差时,传输次数减少明显,传输时延减少。

4.2 仿真模型

HARQ 仿真系统的模型如图 3^[9]。

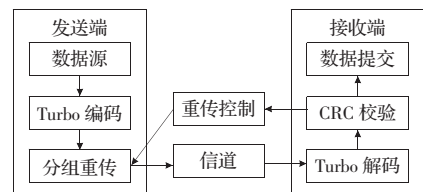


图3 仿真系统的组成部分框图

HARQ 仿真系统由以下几个部分构成:

(1)数据源:产生仿真时使用的用户数据包,是已经经过编码的数据。采用循环冗余校验码(CRC)来进行译码检错,CRC 码长度为 16 选用标准中的 16 比特 CRC 码,生成多项式为: $D^{16}+D^{15}+D^2+1$ 。

(2)Turbo 编码:使用生成多项式 $G=[10001;11111]$ 来编码,迭代译码的次数 6。

(3)分组重传:安排初传信息和重传冗余信息。帧长按第三代移动通信标准 3GPP 中的 320 至 5 114 的范围选取。

(4)信道:仿真时采用白噪声信道,噪声环境为加性高斯白噪声。根据信噪比(SNR)计算公式:

$$SNR=10\log(\text{信号/噪声}) \quad (4)$$

已知发送信号功率和信噪比求出加入的噪声功率来模拟信道。

(5)CRC 校验:对解码的数据进行校验,成功则提交,不成功进入重传控制。

(6)数据提交:对成功传输的数据提交进行处理。

4.3 仿真结果和分析

在加性高斯白噪声(AWGN)信道下,分别对三种方案的吞吐率和传输时延进行了仿真,吞吐率定义如公式(3)所示。传输时延用传送次数表示。系统性能如图 4 和图 5 所示,可以看出,

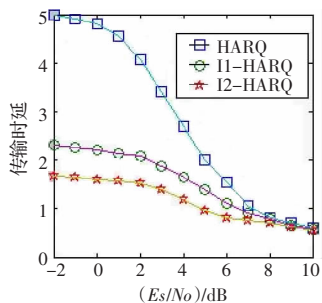


图4 AWGN信道下帧长为512时的传输时延对比

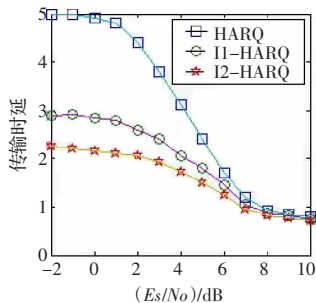


图5 AWGN信道下帧长为1024时的传输时延对比

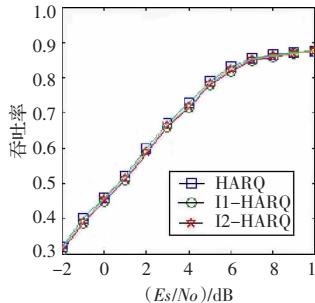


图6 AWGN信道下帧长为512时的吞吐量对比

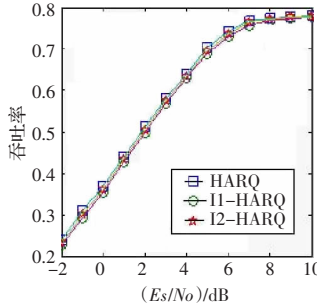


图7 AWGN信道下帧长为1024时的吞吐量对比

新方案重传次数明显减少,在帧长为512的时候,平均重传次数明显减少,特别是信道质量差时,减少幅度尤为明显,信噪比为-2 dB到3 dB的时候,改进的方案平均重传次数不到原来的一半,I2-HARQ性能改善比I1-HARQ更好,在I2-HARQ中下行信道信息通过上行信道估计获得,更能反应出当前信道的状况。在帧长为1024的时候,每种方案的平均重传次数比帧长为512的时候都明显增大,因为帧长变长时,在同样的传输信道状况下,译码失败的可能性更大。但两种改进的方案都大幅度地改善了传输时延。由图6和图7可以看出,三种方案吞吐量差别不大,但明显改善了传输时延。

5 总结

基于当前的信道状况提出了两种改进的HARQ方案,在确保吞吐量变化不大的情况下尽量减少传输时延。仿真结果显示,两种方案在吞吐量变化不明显的前提下,明显地减少了传输时延,特别是在信道状况差的时候,提高了系统的实时性能。

参考文献:

[1] Lin S, Costello D J. Error control coding: Fundamentals and applica-

tions[M]. Englewood Cliffs, N J: Prentice-Hall, 1983.

[2] Zou Yong-zhong, Dong Jiang-bo, Li Dao-ben. A novel HARQ and AMC scheme using space-time block coding and turbo codes for wireless packet data transmission[C]//ICCT2003, 2003: 1046-1050.

[3] Cheng Jung-fu. Coding performance of hybrid ARQ schemes[J]. IEEE Transactions on Communications, 2006, 54(6): 1017-1029.

[4] Garg D, Kimura R, Adachi F. RCPT hybrid ARQ with limited number of retransmissions in DS-CDMA[J]. IEEE Electronic Letters, 2003, 39(2): 241-242.

[5] 刘东华. Turbo码原理与应用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 82-85.

[6] Mantha R, Kschischang F. A capacity approaching hybrid ARQ scheme using turbo codes[C]//GlobeCom 99, 1999: 2341-2345.

[7] Rowitch D N, Milstein B. On the performance of hybrid FEC/ARQ systems using rate compatible punctured Turbo (RCPT) codes[J]. IEEE Trans on Commun, 2000, 48(6): 948-959.

[8] Gu Jian, Zhang Yi, Yang Da-cheng. Modeling conditional FER for hybrid ARQ[J]. IEEE Communications Letters, 2006, 10(5): 384-385.

[9] 3GPP TR 25.950 3 Generation partnership project; Technical specification group radio access network; UTRA high speed down-link packet access[S]. 2000.

(上接 83 页)

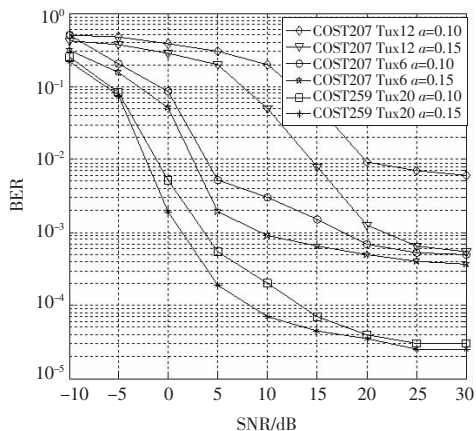


图4 信道估计误码率

6 结束语

提出了一种基于叠加PN序列的TDS-OFDM系统,并分析了同步和信道估计与均衡算法,该结构为完全的ZP-OFDM形式,能够有效克服基于循环前缀的OFDM对系统带来的性能损失。信道估计算法为对符号周期内各径分量的平均估计,在深度衰落的信道中,能够对系统带来一定的性能增益。通过仿

真,分析了叠加相对能量对时间同步的影响,以及在不同信道条件下的误码率。

参考文献:

[1] Muquet B. Cyclic prefixing or zero padding for wireless multicarrier transmissions[J]. IEEE Transaction on Communications, 2002, 50(12): 2136-2148.

[2] Luo Ren-ze. Channel estimation scheme using imposed PN[C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, 21-25 Sept 2007: 1142-1145.

[3] Yang B, Letaief K B, Cheng R S, et al. Timing recovery for OFDM transmission[J]. IEEE J Select Areas Communications, 2000, 18: 2278-2290.

[4] Wang J. A combined code acquisition and symbol timing recovery method for TDS-OFDM[J]. IEEE Trans Broadcasting, 2003, 49: 304-308.

[5] Tian Yuan. Effect of adaptive threshold on time synchronization based on PN sequences in OFDM system[J]. IEEE J Future Generation Communication and Networking, 2007, 2: 173-176.

[6] Zheng Zi-wei. Synchronization and channel estimation for TDS-OFDM systems[C]//IEEE Vehicular Technology Conference, Oct 2003, 2: 1229-1233.