

# 比特软值的部分重传混合ARQ方案

童晓兵, 吴启晖, 王金龙

(解放军理工大学通信工程学院 南京 210007)

**【摘要】**针对比特软值较小的比特是重传时造成数据包出错的主要原因,提出了基于比特软值的部分重传混合ARQ方案,在重传时首先传输比特软值较小的比特;研究了该方案在重传之后各个比特的平均软值,并推导了在高斯白信道下重传前后不同比特的误比特率。理论分析和数值仿真表明,该方案在部分重传的情况下也能较好地平均各个比特之间的软值,从而提高了系统的吞吐性能。

**关键词** 混合ARQ; 星座映射; 比特软值; 吞吐效率  
**中图分类号** TN929.5 **文献标识码** A

## Hybrid ARQ Based on Soft Bit Value Part Retransmitting

TONG Xiao-bing, WU Qi-hui, and WANG Jin-long

(Institute of Communication Engineering, PLA University of Science and Technology Nanjing 210007)

**Abstract** Partial retransmission hybrid automatic repeat request (ARQ) scheme is presented based on soft bit value. In this scheme, bits of lower soft bit value is first transmitted in retransmission, because they are the main reason generating wrong data packet. The average bit soft value of new scheme is researched and the formula of BER in the additional white Gaussian noise (AWGN) channel is derived. Theoretic analysis and numerical results indicate that soft bit value-part repeat-hybrid automatic repeat request (SBV-PR-HARQ) could average the bit soft value and make the system have better performance.

**Key words** hybrid ARQ; signal constellation; soft bit value; throughput efficiency

混合自动重传请求(HARQ)是一种结合了前向纠错(FEC)和自动重传请求(ARQ)两者优点的差错控制技术,可以在移动信道等时变信道中为系统提供较高的传输速率,因此3G和B3G都把HARQ作为系统的核心技术<sup>[1-4]</sup>。

多进制的QAM调制技术是提高系统的频谱效率和传输速率的有效办法,在HARQ技术中采用多进制的QAM调制技术能更好地提高系统的传输速率,保证系统的服务质量。但是,QAM调制技术的一个固有特性是比特的软值依赖于调制星座的映射关系。映射到同一个调制符号的比特具有不同的软值,这对许多依赖比特软值进行译码的纠错码(比如turbo码)是非常不利的<sup>[5-7]</sup>。为了解决这个问题,文献[8]针对各种调制方式,主要研究了如何在重传时选择不同的星座图而使各个比特的软值趋于平均的问题。文献[9]针对64QAM调制方式专门提出了一种基于4种星座图的混合ARQ方案。

上述文献在重传的时候都是将出错的数据包按照另外的星座图进行重传,使可靠性较低的比特在重传时可靠性较高,使可靠性较高的比特在重传时可靠性较低,从而使各个比特的可靠性趋于平均。然而对于出错的数据包,由于每个比特的可靠性不一样,所以发生错误的概率也就不一样。很多情况下,都是那些可靠性低的比特发生错误而导致整个数据包发生错误,因此很多时候重传那些可靠性较高的比特是没有意义的。考虑到这一点,如果在重传时首先仅仅重传那些比特可靠性较低的比特,依然可以取得较好的性能。这就是本文提出的基于比特软值的部分重传混合ARQ方案。

### 1 比特软值的部分重传混合ARQ方案

对于16QAM,在AWGN信道条件下,同相分量的对数似然比(LLR)可以近似为<sup>[1]</sup>:

$$\text{LLR}(i_1) = -4Kx_0x = Ax \quad (1)$$

收稿日期: 2007-03-04; 修回日期: 2007-11-08

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2007AA01Z267); 国家重点基础研究发展计划(2009CB3020402)

作者简介: 童晓兵(1978-),男,博士生,讲师,主要从事移动通信和信号处理方面的研究。

$$\text{LLR}(i_2) = -4Kx_0(2x_0 - |x|) = A(2x_0 - |x|) \quad (2)$$

式中  $i_1$ 、 $i_2$  分别为映射到16QAM符号中的两个同向分量； $x_0$  为16QAM星座图中的横坐标的标准度量单位； $x$  为接收到的符号的横坐标的大小； $k$  为常量； $A = -4kx_0$  也是常量。从式(1)、式(2)可知， $i_1$  比特和  $i_2$  比特的软值是不一样的，它们之间的差异为后续的turbo译码带来了不利的影响。为了解决这个问题，现有的文献都采用在重传的时候改变星座映射关系，让原先可靠性低的比特在重传的时候具有较高的可靠性，原来可靠性较高的比特具有较低地可靠性，从而实现各个比特软值的平均。但是这种方法没有考虑到在第一次传输时，那些可靠性较低的比特是使数据包发生错误的主要原因。

假设系统在第一次发送的时候采用如图1所示的星座图，那么根据QAM调制的固有特性，对于1个映射到16QAM符号的4比特而言，第1、2比特的可靠性比第3、4比特的可靠性要高，也就是说，第3、4比特的错误是数据包错误的主要原因。考虑到这一点，在重传的时候，如果首先仅仅重传那些可靠性较低的比特就有可能使数据包正确，与原有方案相比就节省了传输那些可靠性较高的比特，从而提高了系统的性能。当然，如果部分重传之后仍然不正确，在第2次重传的时候可以选择全部发送该数据包。该方案的具体步骤如下：

(1) 选择要发送的1段数据，对其进行CRC校验、turbo编码，形成要发送的数据包，并将该数据包储存。

(2) 发送端根据收到的ACK/NACK决定是全部还是部分发送数据包。如果收到的是ACK，表明刚才发送的数据包已被正确接收，则将步骤(1)产生的新的数据包全部调制，然后发送给收端。如果收到的是NACK，且是第1次，则表明刚才的数据包没有正确接收，则将上次传输中可靠性较低的比特进行调制(部分重传)，然后发给收端。如果是第2次收到NACK，表明第1次发送的数据包和第2次部分重传的比特依然有错，此时再次将整个数据包进行重传。第3次收到NACK时的处理和第1次时一样处理，直到收到ACK。

(3) 收端首先存储数据包，然后判断上一帧发送给发端的是ACK还是NACK。如果上一帧发给发端的是ACK，表明收到的数据包是一个新的完整的数据包，经过软解调、译码和校验，如果数据包是正确的，则向发端发送ACK；如果不正确，则发送NACK。如果上一帧发给发端的是NACK，根据

NACK的次数，可以知道此时接收的数据是完整的数据包还是部分重传的数据，再进行相应的合并和判决，根据判决的结果发送ACK或NACK。

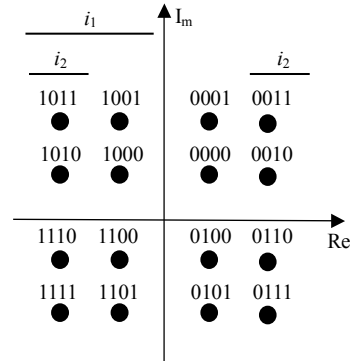


图1 星座映射关系

## 2 性能分析

假设一个数据包的长度为512，由于采用16QAM的调制方式，4个比特对于1个调制符号，可以将这512 bit特记为：

$$i_1^{(1)} q_1^{(1)} i_2^{(1)} q_2^{(1)} i_1^{(2)} q_1^{(2)} i_2^{(2)} q_2^{(2)} \dots i_1^{(128)} q_1^{(128)} i_2^{(128)} q_2^{(128)}$$

式中  $q_1$ 、 $q_2$  分别为映射到16QAM符号中的两个正交分量。根据本文对于SBV-PR-HARQ方案的描述，在第2次和第4次传输那些可靠性较低的比特为：

$$i_2^{(1)} q_2^{(1)} i_2^{(2)} q_2^{(2)} \dots i_2^{(128)} q_2^{(128)}$$

此时传输的一个16QAM符号与原来的两个16QAM符号有关，因此，应该研究相邻的两个符号经过4次传输之后的各个比特的软值。由于同相分量和正交分量是相互独立的，因此，可以只考虑同相分量。经过计算，可以得出如表1所示的4次传输之后的各个比特的平均软值。

表1 4次传输之后的平均LLR

$i_1^{(1)} i_2^{(1)} i_1^{(2)} i_2^{(2)}$	$i_1^{(1)}$	$i_2^{(1)}$	$i_1^{(2)}$	$i_2^{(2)}$
00 00	-4A	-6A	-4A	-6A
00 01	-4A	-4A	-4A	6A
00 10	-4A	-6A	4A	-6A
00 11	-4A	-4A	4A	6A
01 00	-4A	6A	-4A	-4A
01 01	-4A	4A	-4A	4A
01 10	-4A	6A	4A	-4A
01 11	-4A	4A	4A	4A
10 00	4A	-6A	-4A	-6A
10 01	4A	-4A	-4A	6A
10 10	4A	-6A	4A	-6A
10 11	4A	-4A	4A	6A
11 00	4A	6A	-4A	-4A
11 01	4A	4A	-4A	4A
11 10	4A	6A	4A	-4A
11 11	4A	4A	4A	4A

为了进一步地说明本文方案的优点, 下面分析重传前后各个比特误码性能。

假设采用图1所示的星座映射关系, 图中 $I_m$ 和 $R_e$ 分别表示实轴和虚轴。由文献[1]可知, 对于同相分量发送00时,  $i_1$ 和 $i_2$ 的比特软值都是 $-A$ ; 发送01时,  $i_1$ 和 $i_2$ 的比特软值分别为 $-3A$ 和 $A$ ; 发送10时,  $i_1$ 和 $i_2$ 的比特软值分别为 $A$ 和 $-A$ ; 发送11时,  $i_1$ 和 $i_2$ 的比特软值分别为 $3A$ 和 $A$ 。根据比特软值可以求出在AWGN信道条件下 $i_1$ 比特和 $i_2$ 比特的误比特率:

$$p_e = p(0)p(1/0) + p(1)p(0/1) \quad (3)$$

$$p_e(i_1) = \frac{1}{4} \left[ \operatorname{erfc}\left(\frac{A}{\sqrt{2}\sigma}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{3A}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right] \quad (4)$$

$$p_e(i_2) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{A}{\sqrt{2}\sigma}\right) \quad (5)$$

式中 $\sigma$ 为信噪比。经过4次传输之后, 按照本文的分析思路, 根据表1可以得知, 此时 $i_1$ 和 $i_2$ 比特的误比特率分别为:

$$p_e(i_1) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{2}A}{\sigma}\right) \quad (6)$$

$$p_e(i_2) = \frac{1}{4} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{2}A}{\sigma}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{3A}{\sqrt{2}\sigma}\right) \quad (7)$$

重传前后的误比特率的理论曲线如图2示。从图中可以看出, 采用本文提出的基于比特软值部分重传的混合ARQ方案, 不仅可以有效地降低 $i_1$ 和 $i_2$ 比特的误比特率, 而且大大减小了 $i_1$ 和 $i_2$ 比特的误比特的差异, 从而为后续的turbo译码提供更好的性能。

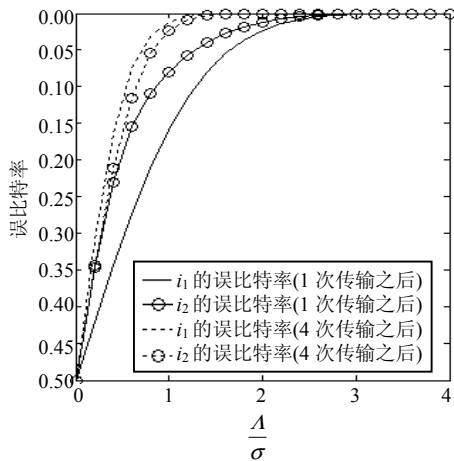


图2 重传前后的误比特率的曲线图

本文方案与传统方案的复杂度比较:

(1) 在传统方案中, 发端只需要根据收端发送的ACK或者NACK来选择是发送新的数据包, 还是按另外一个映射关系重新传输有错的数据包; 收端则根据上一个数据包的正确与否来确定收到的是一个新数据包, 还是一个旧的数据包。

(2) 在本方案, 发端不仅需要知道收端发送的是ACK还是NACK, 还需要判断NACK的次数, 根据NACK的次数来选择是部分传输还是全部传输, 然后再选择不同的映射关系进行重传。

(3) 另外, 部分重传的时, 发送符号的长度只有全部重传时的一半, 因此整个系统在处理的时候存在两种帧长, 而传统的方案只有一种帧长。综上所述可见, 本文的新方案比重传方案处理要复杂一些, 这也就是系统性能提高的代价 $A/\sigma$ 。

### 3 数值仿真

仿真调制方式是16QAM, 纠错方式是3GPP所采用的turbo码, 码率为1/2和1/3两种情况, 数据包长度为512, 检错方案为16位的循环冗余校验码, 其生成多项式为 $g(x)=1+x^5+x^{12}+x^{16}$ , 合并的方式采用chase合并。

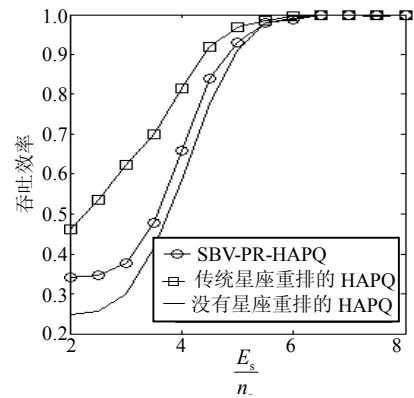


图3 码率为1/3时的系统性能比较

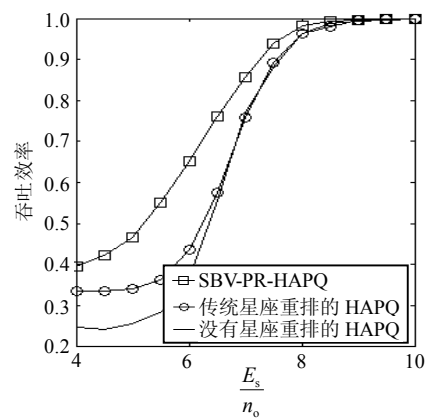


图4 码率为1/2时的系统性能比较

图3和图4分别是码率为1/3和1/2时的3种方案的性能比较。图中 $E_s$ 为信号能量;  $n_0$ 为噪声谱密度。从图上可以看出, 文献[1]所提出常规的方案在信噪比较低的时候比不采用星座重排的混合ARQ方案在性能上要有较大的提高, 但在信噪比较高时, 改善并不明显, 其主要原因是信噪比较高时, 经过一

次重传基本上可以保持传输的正确,因此采用星座重排和不采用星座重排的区别不大。而本文提出的SBV-PR-HARQ方案无论在信噪比低还是信噪比高的时候比原有方案的性能均有较大的提高。

## 4 结 论

传统的星座重排混合ARQ方案只是单独地强调各个比特软值的平均,而没有考虑可靠性低的比特是造成数据包的错误的主要原因,本文提出了一种基于比特软值的部分重传混合ARQ方案,理论分析和计算机表明,该方案在减少重传比特的情况下,依然能较好地平均比特间的软值,从而提高系统的性能。

### 参 考 文 献

- [1] WENGERTER C, GOLITSCHKE A, EDLER V E. Advanced hybrid ARQ technique employing a signal constellation rearrangement[C]//VTC 2002-Fall. Vancouver, Canada: IEEE, 2002.
- [2] SHEA J M. Reliability-based hybrid ARQ[J]. IEE Electronics Letters, 2002, 38: 644-645.
- [3] VISOTSKY E, SUN Y, TRIPATHI V, et al. Reliability-based incremental redundancy with convolutional codes[J]. IEEE Transactions on Communications, 2005, 53: 987-997.
- [4] ROONGTA A B, MOON J-W, SHEA J M. Reliability-based hybrid ARQ as an adaptive response to jamming[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 2005, 23(5): 1045-1055.
- [5] BERROU C, GLAVIEUX A, THITIMAJSHIMA P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes[C]//Proc ICC '93. Geneva, Switzerland: [s.n.], 1993.
- [6] PYNDIAH R, PIEART A, GLAVIEUX A. Performance of block Turbo coded 16-QAM and 64-QAM modulations[C]//IEEE GLOBECOM '95. New York: IEEE, 1995.
- [7] GOFF L S, GLAVIEUX A, BERROU C. Turbo-codes and high spectral efficiency modulation[C]//IEEE SUPERCOMM/ICC '94. New Orleans: [s.n.], 1994.
- [8] GU Xin-yu, LI W Y, NIU Kai, et al. A universal soft output algorithm for M-QAM demapper[C]//Proceedings of ICC'2004. Beijing: ICC, 2004.
- [9] GU Xin-yu, WANG Yi-chen, YU Xiao-bo, et al. Advanced hybrid ARQ technique employing a signal constellation rearrangement based on 64-QAM[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2005, 27(11): 1686-1690.

编辑 熊思亮

(上接第847页)

### 参 考 文 献

- [1] GU Hua-xi, SHEN Hong, LIU Zeng-ji, et al. A new routing method to tolerate both convex and concave faulty regions in mesh/torus networks[C]//Proceedings of the 6th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies. Dalian China: IEEE Computer Society, 2005.
- [2] DUATO J, YALAMANCHILI S, NI L. Interconnection networks: an engineering approach [M]. (revised edition). San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002.
- [3] MARTINEZ J M, LOPEZ P, DUATO J. A cost-effective approach to deadlock handling in wormhole networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2001, 12(7): 716-729.
- [4] PINKSTON T M. On deadlocks in interconnection networks[C]// Proceedings of the Int'l Symposium on Computer Architecture. Colorado USA: ACM Press, 1997: 38-49.
- [5] BAYDAL E, LOPEZ P, DUATO J. A family of mechanisms for congestion control in wormhole networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2005, 16(9): 772-784.
- [6] HO C T, STOCKMEYER L. A new approach to fault-tolerant wormhole routing for mesh-connected parallel computers[J]. IEEE Trans on Computers, 2004, 53(4): 427-439.
- [7] GOMEZ M E, NORDBOTTEN N A, FLICH J, et al. A routing methodology for achieving fault tolerance in direct networks [J]. IEEE Transaction on Computers, 2006, 55(4): 400-415.
- [8] CHALASANI S, BOPPANA R V. Communication in multi-computers with non-convex faults[J]. IEEE Transactions on Computers, 1997, 46(5): 616-622.
- [9] KHONSARI A, FARAHANI A. Disha: a performance model of a true fully adaptive routing algorithm in k-ary n-cubes[C]//Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Modeling, Analysis, Simulation of Computer and Telecommunication Systems. Texas USA: IEEE Computer Society, 2002: 183-190.
- [10] RUBIO J M, LOPEZ P, DUATO J. FC3D: flow control-based distributed deadlock detection mechanism for true fully adaptive routing in wormhole networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed systems, 2003, 14(8): 765-778.

编辑 张俊