

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.06.013

引用格式:郭佳,王毓晗,马正新.抗突发误码的双重交织 Turbo 码设计[J].电讯技术,2014,54(6):765-768.[GUO Jia,WANG Yu-han,MA Zheng-xin.Design of Anti-burst Error Turbo Code with Dual Interleaving Structure[J].Telecommunication Engineering,2014,54(6):765-768.]

抗突发误码的双重交织 Turbo 码设计*

郭佳**,王毓晗,马正新

(清华大学 电子工程系,北京 100084)

摘要:为了解决无线通信中常见的突发误码问题,提出了一种新的抗突发误码的 Turbo 码设计方案。该设计方案通过采用双重交织结构,极大地降低了突发误码对接收信息序列连续删除的风险,在不引入额外延迟的前提下,显著地提升了 Turbo 码抗突发误码的性能。仿真结果表明,当通信中存在较长突发误码时,双重交织 Turbo 码比一般 Turbo 码的纠错性能更好,其误比特率甚至可达到 10^{-6} 数量级。

关键词:无线通信;突发误码;Turbo 码;双重交织结构

中图分类号:TN911.22 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2014)06-0765-04

Design of Anti-burst Error Turbo Code with Dual Interleaving Structure

GUO Jia,WANG Yu-han,MA Zheng-xin

(Department of Electronic Engineering,Tsinghua University,Beijing 100084,China)

Abstract:A new Turbo code design is proposed to solve the problem of the burst error which commonly appears in wireless communications. The design uses the dual interleaving structure,which can greatly reduce the risk of the received information bits being erased in series caused by the burst error. As a result,the new Turbo code can achieve much improvement of correcting burst errors without additional delay. Simulation results show that the dual interleaving Turbo code has better error correcting performance than the commom Turbo code and the bit error rate can even reach 10^{-6} orders of magnitude.

Key words:wireless communication;burst error;Turbo code;dual interleaving structure

1 引言

1993 年,法国学者 C. Berrou 等人首次提出了 Turbo 码^[1],由于引入了交织和迭代技术,因而使 Turbo 码达到了接近香农极限的性能。随着芯片技术和大规模集成电路技术的发展,Turbo 码目前已经广泛应用到卫星通信、移动通信等各个领域。与此同时,与 Turbo 码相关的关键技术也得到了深入研究和发

展。文献[2]采用二次置位多项式(QPP)交织器,并结合并行无冲突算法,将 Turbo 码应用到 LTE 中;文献[3-4]通过将 Turbo 码与比特交织编码调制迭代译码(BICM-ID)系统相结合,提高了通信的可靠性,但系统的复杂度和延时也相应有所增加。

突发误码是无线通信中的常见问题,然而关于如何提高 Turbo 码抗突发误码性能的研究却非常罕见。文献[5]对 Turbo 码抗突发干扰作了研究分析,并提出在 Turbo 编码后级联交织器的解决方法,对纠正干扰产生的突发误码起到了明显的效果,但同时由于添加了一级交织器,因此会增加系统的复杂

* 收稿日期:2014-01-03;修回日期:2014-03-21 Received date:2014-01-03;Revised date:2014-03-21

** 通讯作者:j-guo11@mails.tsinghua.edu.cn Corresponding author:j-guo11@mails.tsinghua.edu.cn

度和延时。目前解决突发误码常用方法是采用交织技术,而 Turbo 码内部却恰恰包含交织结构。本文以改进 Turbo 码内部交织结构从而提升其抗突发误码性能的思路为出发点,首先分析了突发误码对 Turbo 码的影响,进而提出了一种双重交织结构的 Turbo 码设计方案,最终的仿真结果显示文中设计的 Turbo 码不仅具备一般 Turbo 码在加性高斯白噪声(AWGN)信道中逼近香农极限的性能,而且抗突发误码性能明显优于一般 Turbo 码,对保证无线通信的可靠性具有现实意义。

2 突发误码对 Turbo 码的影响

Turbo 码的一般结构如图 1 所示,设输入序列为 $X = \{x_1, x_2, x_3, \cdots, x_L\}$,经交织后的序列为 $X' = \{x'_1, x'_2, x'_3, \cdots, x'_L\}$,设分量编码器 1 输出序列为 $Y = \{y_1, y_2, y_3, \cdots, y_L\}$,分量编码器 2 输出序列为 $Z = \{z_1, z_2, z_3, \cdots, z_L\}$ 。若选择不穿孔方式,则输出编码序列为 $Tx = \{x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \cdots, x_L, y_L, z_L\}$ 。在接收端,设解调后对 X 、 Y 和 Z 相对应的对数似然比表示为 $r(\cdot)$,则将对序列 $Rx1 = \{r(x_1), r(y_1), r(x_2), r(y_2), \cdots, r(x_L), r(y_L)\}$ 和序列 $Rx2 = \{r(x'_1), r(z_1), r(x'_2), r(z_2), \cdots, r(x'_L), r(z_L)\}$ 两个分量进行译码,并将译码所获得的信息增益用于迭代。

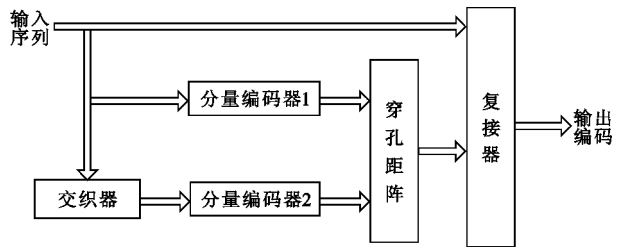


图 1 一般 Turbo 码编码结构框图

Fig. 1 Block diagram of the common Turbo encoding

考虑到无线信道可能出现突发误码情况,则上述编码结构本身存在一定的风险。当突发误码持续较长时间时,会造成终端解调设备的短时失锁,对‘0’、‘1’的判决概率可视为 $P(0) = P(1) = 0.5$,相对应的对数似然比 $LLR = 0$,即对数似然比信息被删除掉。按照图 1 结构,若将输入序列 X 与分量编码器 1 码字 Y 毗连输出,突发误码极有可能将 $r(X)$ 和 $r(Y)$ 同时连续删除,从而造成接收序列 $Rx1$ 中存在一连串的‘0’。为了纠正 $Rx1$ 中的突发误码,需要

提供足够长的保障区间,也就是需要通过提高 E_b/N_0 等方式保证非删除区间接收似然比序列的质量,而当 $Rx1$ 中突发误码超过一定界限时,可能导致译码失败。此时,由于分量码 $Rx1$ 译码出现崩溃,从而直接影响迭代译码效果,甚至会使 Turbo 码呈现出较高误码平台。

3 抗突发误码的双重交织 Turbo 码设计

由以上分析,为了避免 $r(X)$ 和 $r(Y)$ 被信道中的突发误码连续删除,可以在输入序列和分量编码器 1 之间引入交织映射。同时,为了避免两个分量编码器输出校验位相关性增强,需要保证两个分量编码器输入序列间存在良好的映射关系。QPP 映射作为一种代数映射,具备许多良好的特性,可以用来设计 Turbo 码内部交织。而对于分量码的选择,从系统设计的有效性和复杂性综合考虑,分量码可以选择编码结构相同的递归系统卷积码(RSC)。由于采用了双重交织,那么收尾序列的处理和复接器的设计都应相应地加以改动。下面给出一种基于双重交织结构的 Turbo 码设计方案,其编码结构如图 2 所示,具体说明如下:

(1) 交织器 1 采用 QPP 映射 $f: X \rightarrow I_1$,其中 X 为输入序列, I_1 为编码器 1 输入序列;交织器 2 采用映射 $f^2: X \rightarrow I_2$,即 $I_2 = f(f(x)) = f(I_1)$, I_2 为编码器 2 输入序列。由于采用了双重交织结构,信息位和校验位被同时删除的风险显著降低;

(2) 分量编码器选择为递归系统卷积码(RSC);

(3) RSC 可以选择是否进行收尾。但是为了不引入额外的延迟,收尾的几个比特不参与交织。当对两个 RSC 分别进行收尾时,两个分量码收尾比特通常不相同。假设 RSC 编码器约束长度为 m ,信息帧长为 L ,则进行收尾后系统位序列长度为 $L + 2m$,两个编码器输出序列长度均为 $L + m$,当选择不穿孔方式时,码率 $R = L / (3L + 4m)$,当 $L \gg m$ 时,码率可视为 $R = 1/3$;

(4) 对分量码 RSC 进行收尾处理会获得更好的编码增益^[6],但是考虑到系统位与子编码序列长度不等,复接器应相应改动,可将系统位一组收尾序列最后传输。解复接时,按照复接方式镜像处理;

(5) 选取 QPP 映射 f 满足交织后位置序号奇偶性不变,则经 f^2 映射后的位置序号同样保持奇偶性

不变。相同奇偶性可以保证 Turbo 码在穿孔时均匀地删除校验位,从而保证穿孔后的 Turbo 码仍具备良好的纠错性能;

(6) 译码结构与编码结构完全相对应。

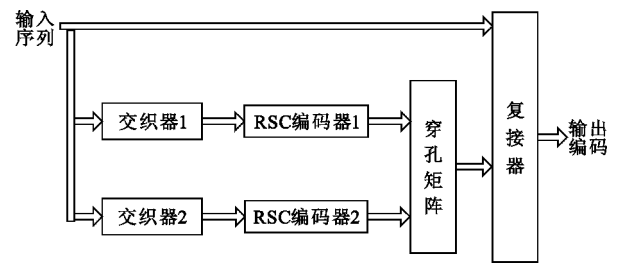


图 2 抗突发误码 Turbo 码编码结构框图
Fig. 2 Block diagram of the anti-burst error Turbo encoding

4 仿真结果

借助 Matlab 工具对 Turbo 码的误比特率曲线进行仿真对比。不失一般性,仿真采用 BPSK 调制。为了方便比较,所选用的 QPP 交织、随机交织以及双重交织器 Turbo 码,其分量码统一采用 RSC,其生成矩阵 $G=[13,15]$,译码算法均为对数最大后验概率译码,且译码迭代次数为 5 次。仿真图中 L 表示 Turbo 码系统位长度,由图 3 仿真结果可见,文中设计的 Turbo 码在 AWGN 信道中同样具备逼近香农极限的纠错性能。

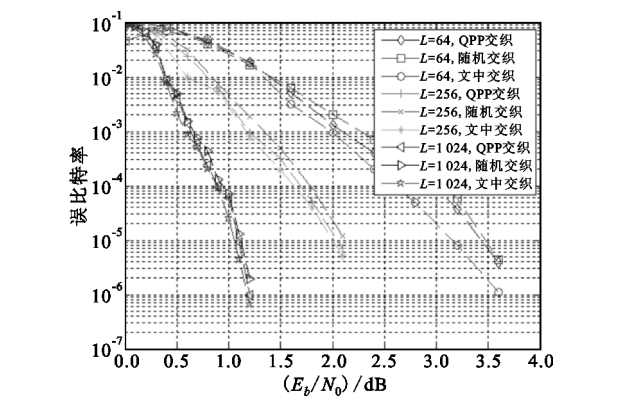


图 3 AWGN 信道下的误比特率对比
Fig. 3 Contrast of BER in the AWGN channel

文中设计 Turbo 码的目的在于抗突发误码。在无线通信和移动通信中,接收终端由于受到干扰,或者短时进入盲区都会产生突发误码,我们在日常生活中也经历过由于突发误码所造成语音通话断续、网络传输堵塞等故障。为了更真实地模拟这些场景,在仿真中我们在每帧数据中引入一段长度为

200 b 的突发误码,误码区间其对数似然比序列为 0。为了验证遍历性,突发误码的位置在帧内随机发生。图 4 仿真结果表明,目前普遍使用的一般 Turbo 码在此情形下出现了较高的误码平台,而文中设计的双重交织结构的 Turbo 码其误比特率可以随 E_b/N_0 增加迅速降低到 10^{-6} 数量级。由此可见,文中设计的 Turbo 码在无线通信中能够提供更稳定的服务保障。

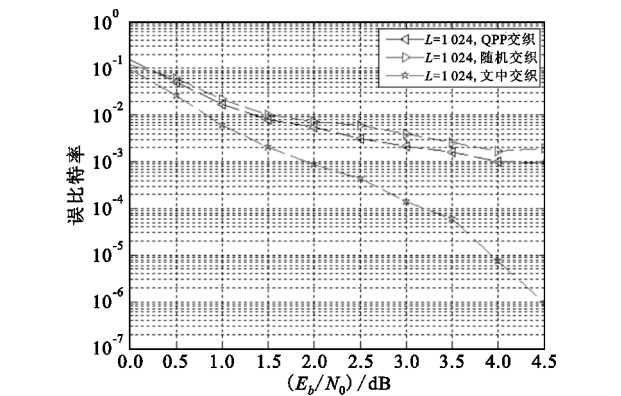


图 4 抗突发误码性能对比
Fig. 4 Contrast of the anti-burst error performance

5 结束语

本文在分析了突发误码对 Turbo 码影响的基础上,提出了一种基于双重交织结构的 Turbo 码设计方法。仿真结果显示,文中设计的 Turbo 码在 AWGN 信道中具有良好的纠错性能,当通信中存在较长突发误码时,文中设计的 Turbo 码表现出明显的优势。当一般 Turbo 码出现误码平台时,文中设计的 Turbo 码表现出极好的抗突发误码能力,其误比特率甚至可以降低到 10^{-6} 数量级,对保证无线信道的无差错信息传输体现出了更大的应用价值。文中研究目前仍处于理论分析和软件仿真阶段,还有待通过硬件实现进一步验证。

参考文献:

[1] Berrou C, Glavieux A, Thitimajshima P. Near Shannon Limit Error - Correcting Coding and Decoding: Turbo Codes[C]//Proceeding of 1993 IEEE International Conference on Communications. Geneva, Switzerland: IEEE, 1993:1064-1070.

[2] Wong Cheng - Chi, Chang Hsie - Chia. High - Efficiency Processing Schedule for Parallel Turbo Decoders Using QPP Interleaver[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I :Regular Papers, 2011, 58(6) :1412-1420.

- [3] 李鸿林,王伟利. 基于卷积码、LDPC 码、Turbo 码的 BICM-ID 性能的研究[J]. 应用科技,2009,36(12):13-16.
LI Hong-lin, WANG Wei-li. The BICM-ID performance research based on convolutional codes, LDPC codes and Turbo codes[J]. Applied Science and Technology, 2009, 36(12):13-16. (in Chinese)
- [4] Kang Donghoon, Lee Yongwook, Oh Wangrok. A Low Complexity Turbo coded BICM-ID [C]//Proceeding of 2013 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. London: IEEE, 2013:1-3.
- [5] 王存珂. 基于 Matlab 的 Turbo 码抗突发干扰研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
WANG Cun-ke. Study of Turbo Codes for Anti-burst Interference Based on Matlab [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2013. (in Chinese)
- [6] Andrei M, Trifina L, Tarniceriu D. Influence of Trellis Termination Methods On Turbo Code Performances [C]//Proceeding of 2012 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering. Galati: IEEE, 2013:1-6.

作者简介:



郭 佳(1984—),男,辽宁锦州人,2007 年获学士学位,现为清华大学电子工程系硕士研究生,主要研究方向为无线通信和卫星通信;

GUO Jia was born in Jinzhou, Liaoning Province, in 1984. He received B. S. degree in 2007. He is now a graduate student. His research concerns wireless communications and satellite communications.

Email:j-guo11@mails. tsinghua. edu. cn

王毓晗(1977—),男,北京人,工程师,主要研究方向为无线通信和卫星通信;

WANG Yu-han was born in Beijing, in 1977. He is now an engineer. His research concerns wireless communications and satellite communications.

马正新(1969—),男,湖南长沙人,副教授,主要研究方向为无线通信和卫星通信。

MA Zheng-xin was born in Changsha, Hunan Province, in 1969. He is now an associate professor. His research concerns wireless communications and satellite communications.