

级联卷积码的性能评估

刘培,葛建华,刘刚

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室,陕西西安 710071)

摘要: 本文给出了三个采用卷积码的数字通信系统,并对其性能进行了评估.其中两个系统采用了用两个短的卷积码进行级联的方式(称为级联系统),而另一个则是现在普遍使用的卷积编码方式,它采用一个长的卷积码(称为基联系统),三个系统的编码效率和约束长度分别采用 $R=2/3$ 和 $K=3$, $R=3/4$ 和 $K=2$,以及 $R=1/2$ 和 $K=7$.前两个系统在 Viterbi 译码器进行硬件判决之前采用了软判决.两个级联系统中最为突出的特点是它们的译码器的复杂程度被大大降低,整个系统的复杂程度比基联系统改变了 25%到 50%.

关键词: 卷积码;级联;复杂度

中图分类号: TN919 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 07-1089-03

Performance Evaluation of the Concatenated Convolutional Codes

LIU Pei, GE Jian-hua, LIU Gang

(National Key Lab. of ISN, Xidian Univ. Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: In this paper three systems using a concatenation of two short convolutional codes in place of a single long convolutional code are proposed and evaluated. Specifically, the systems use a $R=2/3$ with $K=3$, $R=3/4$ with $K=2$ and $R=1/2$ with $K=7$ code. The first two systems employ a soft decision followed by a hard decision Viterbi decoder. The most attractive feature of these systems is the reduction in the complexity of the decoders, and hence the entire system, that varies from 25% to 50% of that of the baseline system.

Key words: convolutional code; concatenation; complexity

1 引言

在卫星和地面数字移动通信系统中,带宽、功率和复杂度通常是系统设计中需要考虑的主要方面.为了提高误比特率(BER)性能,常采用前向纠错(FEC)方式^[1],这是以增加带宽和复杂度为代价的.事实上,具有内部卷积码和外部 RS 码的级联码也可以大大提高性能,但此时除了需要更大带宽外,收发设备的复杂度也变得更加复杂.另外,网格编码调制也可以提高性能和带宽效率,但需要以增加设计复杂程度为代价^[2,3].显然,系统设计时各方面之间的相互转换依赖于不同的应用.

本文中,对内部和外部均采用卷积码的级联码系统进行研究和评估.所有系统在信道中发送的信号为每符号一个信息比特时,本文对级联码与传统的基联编码的误比特性能、复杂度、等待时间等进行了比较.所给出的结果通过 SPW(Signal Processing Worksystem)仿真得到了验证.所有系统采用 QPSK 调制.

2 级联卷积码

传统的基联系统的组成框图如图 1^[1],它是一种目前广

泛采用的编码方式.它的发射端包括 $R=1/2$, $K=7$ 的卷积编码器和 QPSK 调制器,接收端包括 QPSK 解调器和一个 3 比特软判决 Viterbi 译码器.这种码由于它的低成本、易实现和良好的编码增益(码距为 10)而被广泛使用.

级联系统 1 如图 2 所示,它采用了 QPSK 调制,内、外部码均为卷积码,其中内部卷积码的 $R=3/4$, $K=2$,外部卷积码的 $R=2/3$, $K=3$,因此内部码为码距为 4 的 8 状态码,外部码为码距为 5 的 16 状态码.这种系统在 Viterbi 译码器和软判决 Viterbi 译码器之间采用了一个卷积解交织器,从而将突发错误进行随机化.与其它级联系统相似,内部码采用 3 比特软判决 Viterbi 译码器,外部码采用硬判决 Viterbi 译码器.

级联系统 2 如图 3 所示,它的结构与级联系统 1 基本相同,只是内、外部编码器交换了一下位置,因此,外部卷积码的 $R=3/4$, $K=2$,

内部卷积码的 $R=2/3$, $K=3$.在内、外码之间也采用了与级联系统 1 相同的解交织器.

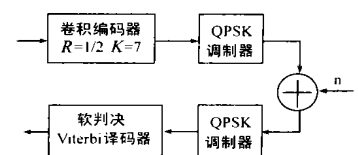


图1 基联系统

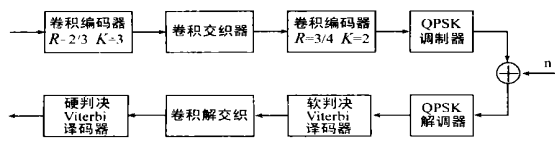


图2 级联系统1

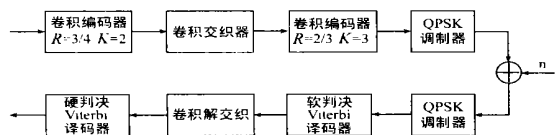


图3 级联系统2

3 性能比较

3.1 误比特性能

以上三个系统的理论性能通过使用卷积码变换函数得到. 利用 SPW 进行了 Monte Carlo 仿真, 验证了在 E_b/N_0 为 2dB 到 5dB 范围内理论上是有效的. 在 $R=1/2$, $R=2/3$ 和 $R=3/4$ 的卷积码中其截段长度分别为 35、20 和 15, 交织深度为 9. 图 4 给出了仿真结果和理论曲线. 其中理论曲线是通过连续软判决译码得到的, 而仿真点是通过 3 比特软判决译码得到的, 如图 4 所示. 级联系统 1 的性能与基联系统相当, 而级联系统 2 的性能则比基联系统的性能略微好一些. 在 $E_b/N_0 = 5$ dB 处, 系统 1、2 的增益比基联系统的增益约高 0.6dB. 因此用级联系统取代基联系统, 在性能上是可以满足要求的.

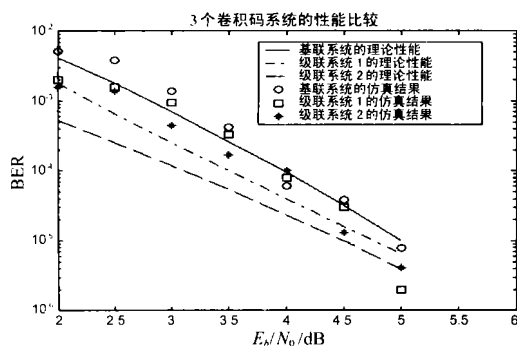


图4 3个系统的码性能特性

另外, 为了在基联系统中对 Viterbi 译码器输出中的突发错误进行纠正, 惯用的方法是加入一个 RS 外部码. 这种方法同样可以应用于级联系统 1 和 2 中, 只不过此时级联系统实际上变为三种码的级联, 两个内部的卷积码和一个外部的 RS 码. 这时它们同样可以提高性能和减少突发错误, 对突发错误的消除效果取决于 RS 码.

3.2 系统复杂度

由于卷积编码器只是由少量延时单元和 XOR 组成, 所以译码器复杂度的比较才是这三个系统复杂度更好的比较.

为此, 需先来讨论一下码的状态数量. 对于 $R = k/n$ 和约束长度为 K 的码, 其状态数为:

$$N = 2^{K(K-1)} \quad (1)$$

这是一个与 Viterbi 译码器的复杂度相对应的数, 它表

示了要完成译码所需的加法器、比较器和选择器 (ACS 电路) 的数量, 所需的 ACS 门的数量为:

$$N_{acs} = N \times (N_{add} + N_{comp} + N_{sel} + N_{reg}) \quad (2)$$

其中 N_{add} 为加法器的门数量, N_{comp} 为比较器的门数量, N_{sel} 为选择器的门数量, N_{reg} 为路径度量寄存器门的数量. 另外, 路径存储器门的数量为:

$$N_{pm} = N \times PML \times N_{pmc} \quad (3)$$

其中 PML 为路径存储长度, N_{pmc} 为每条路径存储单元的门的数量. 所以 Viterbi 译码器所需要的总的门数量为:

$$N_{total} = N_{acs} + N_{pm} \quad (4)$$

方程 (2)、(3) 和 (4) 表明, Viterbi 译码器所需要的门电路的数量线性正比于卷积码的状态数的. 不过, 方程 (3) 表明路径存储门数也正比于截段长度. 对于 $R=1/2$ 和 $K=7$ 的码, ACS 门的数量大至与路径存储门数量相等. 另外, 对于给定的同样的卷积码, 3 比特软判决译码大约需要硬判决译码所需门数量的 3 倍^[6]. 总体而言, 级联系统 1 的复杂度大约为基联系统的四分之一, 而级联系统 2 的复杂度大约为基联系统的三分之一. 因此两个级联系统在与基联系统工作性能相同的条件下其复杂度大大降低了.

3.3 等待时间

两个级联系统的延时均比基联系统要大. 截段长度为 35 的 $R=1/2$ 的码的延时为 41 比特, 对截段长度分别为 20 和 15 的 $R=2/3$ 和 $R=3/4$ 的级联系统 1 和级联系统 2, 分别有 34 比特和 35 比特的延时, 另外, 卷积交织器和解交织器联合产生了 216 比特的延时, 因此级联系统 1 和级联系统 2 总共分别有 250 和 251 比特的延时.

4 双软判决系统

对级联系统 2 的改进是两个 Viterbi 译码器都使用 3 比特软判决, 从而提高了系统的性能. 因此内部译码器采用软输出 Viterbi 算法 (SOVA)^[9]. 图 5 比较了具有适当交织和连续性的改进系统与其它系统的性能, 可见, 这个系统的性能更加优越, 在信道中同样传送每符号一个信息比特的信号时, 它较之基联系统获得了大约 1.5dB 的增益.

由于两个译码器均采用软判决 Viterbi 译码器, 系统的复杂度有所增加. 不过, 这个系统仍然比基联系统的复杂度低, 因为包含了第一个 Viterbi 译码器的软输出头的译码器的复杂度是 24 状态的, 所以该系统的复杂度大约只有基联系统的一半.

用于将错误随机化的交织器和解交织器与前面两个级联系统的一样, 因此等待时间也与前两个系统相等.

5 结论

本文给出了数字通信中用短的卷积编码的级联来取代一个长卷积码的三个级联系统, 前面两个级联系统比惯用的只采用单个长的卷积编码的系统在相同带宽条件下的性能稍微好一些, 大约为 0.6dB. 不过, 这些系统的主要特点在于它们降低了系统的复杂度, 它们总体上的复杂度只有基联系统的 1/4 到 1/3, 从而降低了系统的成本. 通过对级联系统 2 进行

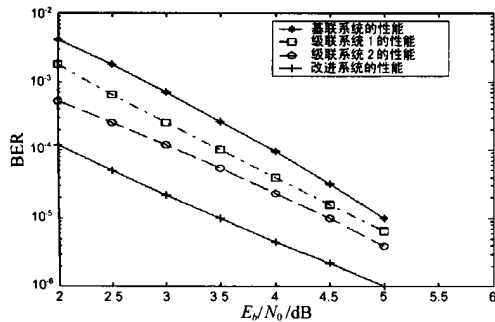


图 5 改进系统与其它 3 个系统的性能比较

改进,即采用两个软判决 Viterbi 译码器,在增加一定系统复杂度的条件下其性能增益提高到 1.5dB.而且,此时系统的复杂度仍然要比基联系统低,大约只有基联系统的一半.该系统的延时与前面两个级联系统的相当.

参考文献:

- [1] Forney G D. Concatenated Codes [M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1966.
- [2] Ungerboeck G. Trellis-coded modulation with redundant signal sets [J]. Part and Part, IEEE Commun, 1987, 25(11): 5 - 21.
- [3] Ungerboeck G. Channel coding with multilevel/phase signals [J]. IEEE Trans Info. Theory, 1982, IT-28(1): 55 - 67.
- [4] ESA-ESTEC, Doc. Ref. TST/57403/ AF. Franchi A. Phase Ambiguity Resolution in Burst Transmission Mode Using a Metric Growth Technique [S].
- [5] Kato S, Morikura M, Kubota S. Implementation of coded modems [J]. IEEE Commun, 1991, 29(12): 88 - 97.

- [6] Fettweis G, Meyr H. high-speed parallel viterbi decoding: algorithm and VLSI architecture [J]. IEEE Commun, 1991, 29(5): 46 - 55.
- [7] Q1650 Technical Data sheet [R]. DL90-1650A, Qaulcomm inc, 1990.
- [8] Morrison I S. ACE-8PSK: Band-limited 8PSK with an almost constant envelope [A]. Proc. Tenth int. Conf. On Digital Satellite Commun. (ICDSC-10) [C]. Brighton: ICDSC, 1995.
- [9] Hagenauer J, Hoehner P. A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its application [A]. Proceedings of GLOBECOM 89 [C]. Dallas, TX, USA: GLOBECOM, 1989.

作者简介:



刘 培 男, 1968 年生于重庆江津市, 现为西安电子科技大学通信与信息系统专业在读博士, 主要从事数字移动多媒体通信、通信信号处理等领域研究。



葛建华 男, 1961 年生于江苏南通, 现为西安电子科技大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为数字电视、信号处理、密码学。

刘 刚 男, 1977 年生于陕西咸阳, 现为西安电子科技大学通信与信息系统专业博士生, 主要从事数字移动多媒体通信、通信信号处理等领域的研究。

(上接第 1110 页)

参考文献:

- [1] Chris Oliver, Shaun Quegan. Understanding Synthetic Aperture Radar Images [M]. Boston: Artech House, 1998.
- [2] Ursula C Benz. Supervised Fuzzy Analysis of Single- and Multichannel SAR Data [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(2): 1023 - 1037.
- [3] Fangju Wang. Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28(2): 194 - 201.
- [4] Gunther Jager, Ursula Benz. Supervised Fuzzy Classification of SAR Data Using Multiple Sources [A]. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS 99 Proceedings [C]. Hamburg, Germany: IEEE 1999 International, 1999.
- [5] Farid Melgani, Bakir A R Al Hashemy, Saleem M R Taha. An explicit fuzzy supervised classification method for multispectral remote sensing images [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(1): 287 - 295.
- [6] Lei Xu, Adam Krzyzak, Ching Y Suen. Methods of combining multiple classifiers and their applications to handwriting recognition [J]. IEEE Transaction on System, Man, Cybernetics, 1992, 22(3): 418 - 435.
- [7] 孙红岩. 多传感器数据融合处理方法的研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 1996.
- [8] 王之禹. 全极化合成孔径雷达在地貌分类领域的应用研究[D]. 北京: 中国科学院电子所, 1999.