

文章编号:1000-582X(2004)09-0049-03

# 卫星通信中多重 Turbo 码技术的应用\*

吴玉成,付驿如,黄天聪

(重庆大学通信工程学院,重庆 400030)

**摘要:**卫星通信信道具有功率受限、带宽充足的特点,要求采用具有强大纠错能力的信道纠错技术。Turbo 码以其接近信道容量的纠错能力而在卫星通信中有广阔的应用前景。多重 Turbo 码可以充分利用信道的带宽特性,并能克服功率受限的弱点。针对卫星通信的需要,采用了多重 Turbo 码的编码形式,设计了几种译码结构,对不同译码结构的纠错能力进行仿真比较,结果表明设计方案具有接近信道容量的纠错能力,同时由于码长较短,为实际实现和处理时延的减少带来方便。

**关键词:**卫星通信; Turbo 码; 译码

**中图分类号:** TN 912.3

**文献标识码:** A

卫星通信系统以很远的距离传送数据,由于衰落、噪声和干扰等的影响,信号在传输过程中将产生严重的畸变。除要求采用有效的传输方式外,还希望信号应具有尽可能大的能量,但是,由于卫星有效载荷等的限制,不可能给信号提供太大的能量,这就要求采用具有很强纠错能力的差错控制方法以保证误码率在允许的范围之内。为实现强大的纠错能力,除了构造所谓“好码”之外,还要求译码时采用最大似然译码算法。同时,由于卫星通信信道具有充足的带宽,因此在选择调制方式时,允许采用研究得比较透彻的低频谱利用率的二进制调制方式。卫星信道充足的带宽允许系统以较低的码速率传输数据,这样,数据之间的符号干扰可以忽略,信道引入的加性噪声和干扰可以用高斯白噪声来模拟,并且这种噪声在符号之间是相互独立的。所以,卫星信道基本上是无记忆高斯白噪声信道(AWGN),在选择卫星通信系统的差错控制方式时,首先考虑的是纠正随机性错误,有时也要考虑纠正突发性的错误,即采用交织编码技术来对付突发性的错误图样<sup>[1-2]</sup>。

传统卫星通信中应用的主要是 RS 码和卷积码构成的串行级联编码方式,外码采用(255, 223) RS 码,内码采用生成多项式为 133、171 的(2, 1, 7)卷积码,内码采用软判决维特比译码算法,在内码和外码之间采用卷积交织器或分组交织器进行处理。串行级联码

可以在  $E_b/n_0 = 2.5$  dB 时实现  $10^{-5}$  的误码率,基本能够满足卫星通信的需要<sup>[1-2]</sup>。为进一步提高纠错能力,提出了一系列改进的编码结构和译码算法<sup>[2]</sup>,但由于编译码方法本身所具有的局限性,性能的提高是以极大地增加实现难度、硬件资源、降低数据码速率为代价的。

Turbo 码一经提出,就引起全球研究人员的注意<sup>[3-4]</sup>。由于 Turbo 码接近香农极限的纠错能力,非常适合于要求强大纠错能力的卫星通信系统的需要。CCSDS 已经在卫星通信中应用 Turbo 码给出了建议。

## 1 多重 Turbo 码

卫星通信具有典型的 AWGN 信道,因此,有关 Turbo 码的研究成果可以很方便地应用于卫星通信系统的差错控制。国际上也有相关论文发表。例如,1995 年的 JPL TDA 研究报告中, D. Divsalar 和 F. Pol-lara 将 Turbo 码编译码方法应用于卫星通信<sup>[5-6]</sup>,研究结果表明,在卫星通信的 AWGN 信道环境下, Turbo 码可以取得很好的纠错性能。

通常在对 Turbo 码的研究中,主要考虑的是由两个成员码并行级联构成的双重 Turbo 码,针对双重 Turbo 码的译码算法已有大量成果发表。但双重 Tur-

\* 收稿日期:2004-03-29

基金项目:重庆市应用基础项目(2003-7961);重庆大学骨干教师基金资助

作者简介:吴玉成(1971-),男,河南光山人,重庆大学副研究员,博士后,主要从事信道编码、OFDM 技术的研究。

bo 码还没有充分利用卫星信道的带宽。由香农信道编码定理知道,只要信道中的信息传输速率不大于信道容量,随着编码长度的无限增大,可以实现有扰信道中的无误通信。因此卫星信道中的编码码率可以进一步降低以实现更低的通信误码率,为此,将对多重 Turbo 码<sup>[7]</sup> 编译码技术及其在卫星通信中的应用进行研究,以三重 Turbo 码为例来说明。

1.1 多重 Turbo 码编码器

多重 Turbo 码编码器包括多个二进制递归系统卷积码(RSC)作为其成员码<sup>[6-7]</sup>。第 1 个成员编码器直接对长度为  $N$  的信息数据  $d = (d_1, d_2, \dots, d_N)$  编码产生两个编码输出序列  $d$  和  $c^1$ 。第 2 个 RSC 编码器处理的数据  $d^2$  是  $d$  经过交织器  $\pi_2$  处理后的数据, RSC2 输出编码序列  $c^2$ 。同样,第  $j$  个成员码编码器 RSC  $j$  的输入数据是交织器  $\pi_j$  处理后的, RSC  $j$  输出数据为  $c^j$ , 这样可以扩展到多重 Turbo 码的结构形式。

图 1 是一个三重 Turbo 码编码器,其中包括 2 个交织器  $\pi_2, \pi_3$ , 3 个递归系统卷积码编码器 RSC1、RSC2、RSC3, Turbo 码编码器输入数据长度为  $N$  的二进制序列  $d$ , 输出为序列  $d, c^1, c^2$  和  $c^3$  经过删除(Puncture)和复接处理后得到的编码输出。这里的交织器  $\pi_2, \pi_3$  是不相同的 2 个半随机交织器,使得对同一个数据序列  $d$  及其交织后生成的序列  $d^2, d^3$ , 3 个序列两两之间相关性尽可能降低且同一位数据在 3 个序列中的位置有较大差异。此讨论中,将不作删除处理,这样,图 1 编码器的码率为 1/4。

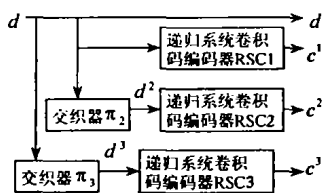


图 1 三重 Turbo 码编码器

1.2 多重 Turbo 码译码器结构

双重 Turbo 码的译码是按串行方式处理,具体译码器结构可参考相关文献[3, 4, 6]。在考虑三重 Turbo 码的译码时,可以采用类似于双重 Turbo 码的串行模式,但为提高其译码性能,可以采用主从模式、并行模式<sup>[3, 6]</sup> 等,针对卫星通信的需要,在文献[5 - 7] 的基础上设计了几种译码结构的框图并进行计算机仿真。

串行模式的译码器结构框图如图 2 所示:

图 2 中,  $\lambda$  为各软输入软输出 LogMAP 译码器输出的对数似然比,  $z$  为外信息,  $x$  为接收信息符号,  $\hat{d}$  为判决输出。各符号的上标为分量译码器,下标表示时间,有

$$\lambda_i^1 = z_i^1 + Ax_i + z_i^3 \quad \lambda_j^2 = z_j^2 + Ax_j + z_j^1$$

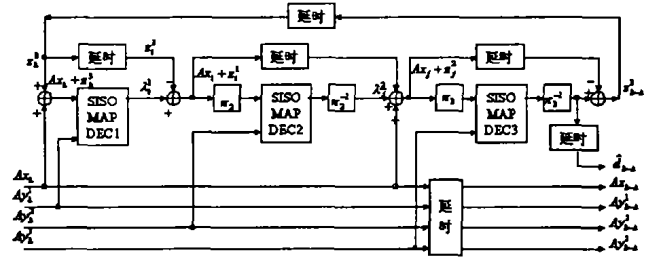


图 2 三重 Turbo 码串行译码模式结构框图

$$\lambda_k^3 = z_k^3 + Ax_k + z_k^2 \quad \hat{d}_k = \text{sign}(\lambda_k^3)$$

主从模式的译码器结构框图如图 3 所示:

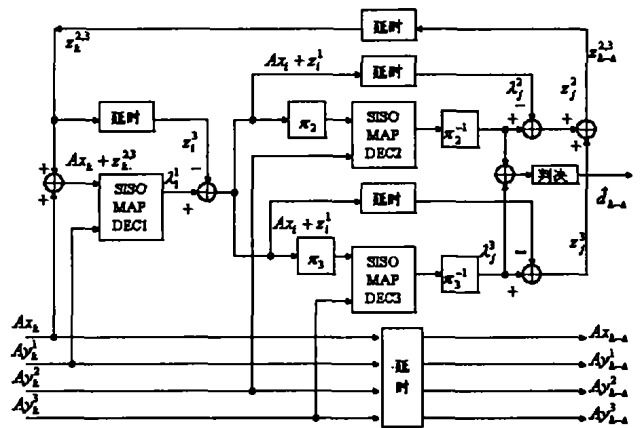


图 3 三重 Turbo 码主从译码模式结构框图

图 3 中,各软输入软输出 LogMAP 译码器输出的对数似然比分别为:

$$\lambda_i^1 = z_i^1 + Ax_i + z_i^{2,3} \quad \lambda_j^2 = z_j^2 + Ax_j + z_j^1$$

$$\lambda_j^3 = z_j^3 + Ax_j + z_j^1 \quad z_k^{2,3} = z_k^2 + z_k^3$$

$$\hat{d}_k = \text{sign}(\lambda_k^3 + \lambda_k^2)$$

并行模式的译码器结构框图如图 4 所示:

图 4 中,各软输入软输出 LogMAP 译码器输出的对数似然比分别为:

$$\lambda_k^1 = z_k^1 + Ax_k + z_k^2 + z_k^3 \quad \lambda_k^2 = z_k^2 + Ax_k + z_k^1 + z_k^3$$

$$\lambda_k^3 = z_k^3 + Ax_k + z_k^1 + z_k^2 \quad \hat{d}_k = \text{sign}(\lambda_k^1 + \lambda_k^2 + \lambda_k^3)$$

2 仿真结果及性能分析

利用上面设计的 3 种迭代译码结构,笔者设计了相应的 MATLAB 仿真程序。由于串行模式的各成员译码器没有充分利用已获得的先验信息,其纠错能力将远低于并行模式。这是因为,随着迭代次数的增加,反馈回来的外信息和信息序列、校验序列之间的相关性越来越强,无法使误码率进一步降低。所以,即使有足够多的迭代次数,串行译码也无法达到并行模式的纠错能力。笔者对主从模式和并行模式的进行了计算机仿真,图 5、图 6 分别是他们的仿真结果,图 7 是与双重 Turbo 码的比较曲线。所有曲线均为信息长度(也是交织长度)为 256 时误码率  $P_e$  随信噪比  $E_b/N_0$  的变化曲

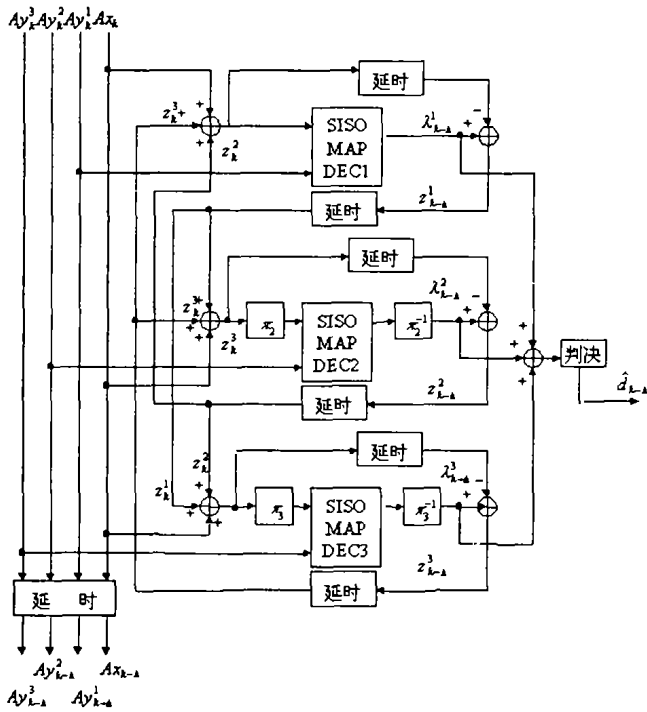


图 4 三重 Turbo 码并行译码模式结构框图

线, iter 为迭代次数。可以看出, 并行模式的纠错性能和迭代收敛特性要好于主从模式。从图 7 可以看出, 三重 Turbo 码的纠错能力明显强于双重 Turbo 码, 如果将交织长度提高的话, 误码特性将可以得到更大改善。

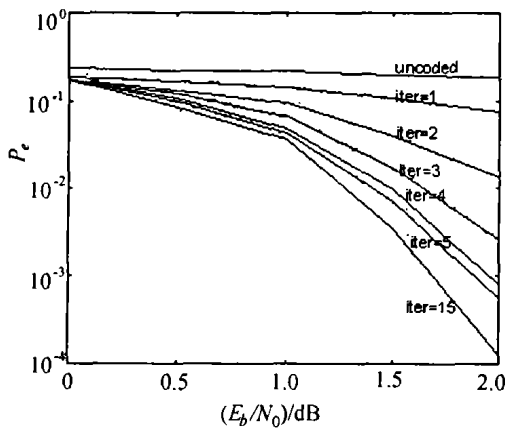


图 5 三重 Turbo 码主从模式仿真结果

### 3 结 论

卫星和深空通信系统由于是严重的功率受限通信环境而成为纠错编码施展作用的舞台。论文研究在卫星通信信道中使用多重 Turbo 码的方法, 设计了三重 Turbo 码的 3 种迭代译码结构, 仿真结果表明, 在卫星通信这种功率受限、带宽充足的信道环境下, 采用具有较短码长的多重 Turbo 码可以提供需要的接近信道容量的纠错能力, 减少了处理时延, 降低实现时的硬件资源。研究表明, 在卫星通信中, 采用多重 Turbo 码是切实可行的。

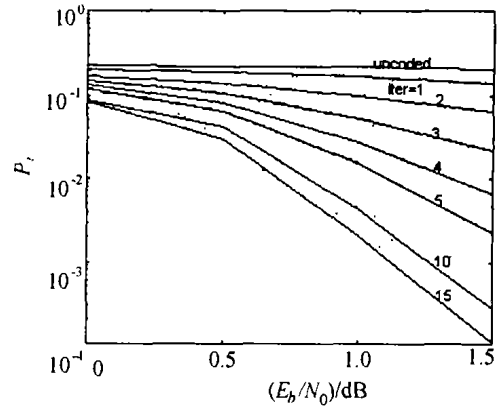


图 6 三重 Turbo 码并行模式仿真结果

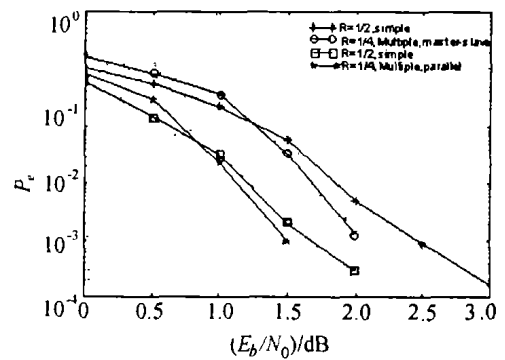


图 7 三重 Turbo 码与双重 Turbo 码仿真性能对比

### 参考文献:

- [1] 吴玉成, 杨士中, 刘嘉兴. 差错控制编码在卫星通信中的应用[J]. 电讯技术, 2000, 40(1): 3-7.
- [2] COSTELLO D J, HAGENAUER J, IMAI H, et al. Applications of error-control coding[J]. IEEE Trans. Inform. Theory. 1998, 44(6): 2531-2560.
- [3] BERROU C, GLAVIEUX A. Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-codes[J]. IEEE Trans. Commun., 1996, 44(10): 1261-1271.
- [4] 王新梅, 肖国镇. 纠错码——原理与方法(修订版)[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [5] DIVSALAR D, POLLARA F. Turbo codes for deep-space communications[J/OL]. [http://tmo.jpl.nasa.gov/tmo/progress\\_report/42-120/120D.pdf](http://tmo.jpl.nasa.gov/tmo/progress_report/42-120/120D.pdf), 1995, Feb.
- [6] DIVSALAR D, POLLARA F. Multiple Turbo codes for deep-space communications[J/OL]. [http://tmo.jpl.nasa.gov/tmo/progress\\_report/42-121/121T.pdf](http://tmo.jpl.nasa.gov/tmo/progress_report/42-121/121T.pdf), 1995, May.
- [7] EHTIATI N, SOLEYMANI M, SADJADPOUR H. Interleaver design for multiple turbo codes[A]. IEEE CCECE 2003 [C]. Montreal, 2003: 1605-1607.

## A Receiving Surface of Perturbative Photon Fluxes in Interaction Between Gravitational Waves and EM Fields

ZHANG Yi, WU Zhang-han

(College Mathematics and Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** According to Electrodynamics in curved spacetime, the interaction between gravitational waves (GW) and electromagnetic (EM) fields will produce perturbative electromagnetic fields. In a special EM system, namely, a Gaussian beam (Gb) propagating through a static magnetic field, the photon flux along the direction of the electric field of the Gb will be only a pure perturbative photon flux, when a GW propagates along the symmetric axis of a Gaussian beam. Detailed analysis and calculation of the photon flux along several typical surfaces are performed, and a possible optimum plane which can receive perturbative photons up to  $10^4 \text{ s}^{-1}$  is proposed. It is possible to provide an important method to detection of GW.

**Key words:** gravitational wave; electromagnetic field; Gaussian beam; perturbative photon flux

(编辑 张 苹)

---

(上接第 51 页)

## Multiple Turbo Codes for Satellite Communications

WU Yu-cheng, FU Yi-ru, HUANG Tian-cong

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400030, China)

**Abstract:** Satellite communication channel has the characteristic of power limited, band abundance, and powerful error correcting ability FEC scheme is needed. For its near Shannon limit error correcting capability, Turbo codes may be suitable for satellite communication systems. The multiple Turbo codes can utilize channel capacity sufficiency and overcome the disadvantages of power limited for satellite communication systems. Force on the needed for satellite communication systems, multiple Turbo codes is adopted and server decoding schemes were proposed with simulation. Simulation results show that, the schemes proposed can get near channel capacity error correcting performance with short code block.

**Key words:** satellite communications; turbo codes; decoding

(编辑 吕赛英)