

KB turbo 码中交织器的设计¹

孙毅 高路 赵建平 吴伟陵

(北京邮电大学信息工程系 181 信箱 北京 100876)

摘 要 已知比特 (KB, Known Bits) turbo 码是采用将 KB 周期性的插入到信息比特中, 不显著增加系统复杂程度而较大提高 turbo 码译码性能。但因为一般采用了随机交织器, 所以在引入 KB 方法时, 产生了不等差错保护的问题。这个问题可以通过采用 KB 交织器, 将 KB 在交织器中均匀分配来解决。仿真证实, 以伪随机交织器和 S 随机交织器为基础的 KB 交织器可以显著提高系统性能, 而且采用 KB turbo 码可以方便地实现速率适配, 满足第三代移动通信系统的要求。

关键词 已知比特 (KB, Known bits), Turbo 码, 交织器

中图分类号 TN911.22

1 引言

在迅速多变的无线信道环境下, 为了适应信道变化, 文献 [1] 中提出了已知比特 (KB, Known Bits) turbo 码方法以加强译码性能和速率适配的能力。传统的交织器采用随机交织方式, 在第一个 RSC (Recursive System Code) 编码器中均匀分配的 KB, 在第二个 RSC 编码器中会随机分配, 产生不等差错保护的问题, 影响了系统的性能, 所以我们引入了一种称作 KB 交织器的方式。基本原理是在信息比特流中周期性的插入 KB, 在发送前删除, 而仅发送 KB 的校验比特。

此文分为三节, 在第 2 节我们描述了 KB 方法和 KB 交织器的结构和产生的办法。在第 3 节, 我们测试了 KB 交织器在加性高斯白噪声 AWGN 信道和瑞利衰落信道下的性能。第 4 节为结论。

2 KB turbo 码和 KB 交织器

2.1 KB turbo 码 下面介绍一下编译码基本过程^[1]。发送双方都确切已知 KB 的内容 (如 01 间隔或伪随机序列), 与信息比特复合。然后经过复合后的码字送入 turbo 码交织器进行编码, 在编码后的码字中删除系统码字段中的 KB, 仅发送 KB 产生的校验比特。经过信道后的接收码字中, 接收端恢复 KB, 并尽可能加大其功率, 即提高了接收的信噪比 (SNR), 并且相应加大了码字的长度, 因为采用了迭代和软判决算法, 所以 KB 的功率被分配到其它信息比特中去, 则提高了系统整体的性能。图 1 显示了 KB turbo 码发送端和接收端的示意图, 信息比特和 KB 组成码字, 经过 turbo 码编码器后, 删除系统码字段中的 KB, 只有 KB 的校验比特允许发送。而在译码器端恢复 KB, 提高其功率, 即提高了译码器整体的接收信噪比 (SNR)。在 KB turbo 码中一样可以采用“凿孔”(puncturing) 方法, 提高编码速率, 如可以将 1/3 编码速率的 turbo 码通过删除一部分校验码达到 1/2 的编码速率, 亦可以借助删除 KB 和其校验比特的多少, 方便地实现速率适配, 满足第三代移动通信系统中不同业务要求。

2.2 KB 交织器的设计 均匀分配 KB 可以最大限度地提高 turbo 码译码性能, 可以均匀分配 KB 的能量。而在 KB turbo 码中采用随机交织器的缺点是在第一个编码器中均匀分配的 KB, 经过随机交织后, 在第二个编码器前打乱了 KB 的顺序, 产生了不等差错保护的问题。为此我们设计了一种新的交织器, 称为 KB 交织器, 图 2 中显示了其结构, 采用编码速率为 1/3 和长度为 100 的码字, 插入 KB 的比例是 1/9, 即 1 个 KB 后面跟随 9 个信息比特。首先我们将交织器分为两个部分, 信息比特部分和 KB 部分, 从图中可以看出在交织

¹ 1999-07-20 收到, 2000-01-09 定稿

国家自然科学基金重大项目 69896234 资助

器前后，KB 都是等间隔填充的，所以在 KB 周围的信息比特可以利用 KB 极高的能量，提高其译码的可靠性。并且交织器前后的码字中，KB 的位置有一定的差异，增加 KB 的作用。而 KB 在交织器中的位置要对称分布满足在第二个译码器中的信息比特充分利用 KB 的能量。而整个交织器可以按照伪随机交织或 S 随机交织^[2,3]的方法产生。

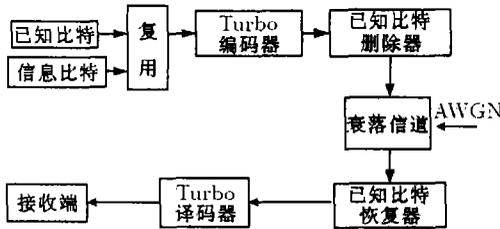


图 1 KB turbo 码结构示意图

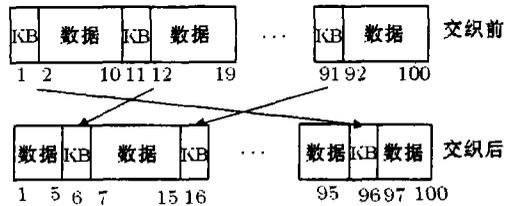


图 2 KB 交织器的结构

2.3 KB 交织器产生的规则 我们以 S 随机交织器为基础，产生 KB S 随机交织器。S 随机交织器的基本思想是在随机产生交织器查找表时控制交织前相邻的两个位置在交织后至少相差 S 个位置。

(1) 产生一个空的长度为 N 的交织器位置数组，产生两个长度为 $N(1 - 1/k_d)$ 和 N/k_d 的数组存放信息比特的位置和 KB 的位置。 k_d 为插入 KB 的周期。

(2) 产生一个随机数，判断其是在信息比特数组，还是在 KB 数组中。

(3) 如果此数字与前 S 个已产生的数字相差距离为 S 以上，包含 KB 数组中的数字，则认为有效数字，存入交织器位数组。否则返回第 (2) 步。

(4) 如果还有剩余空白位置，则返回第 (2) 步，否则到第 (5) 步。

(5) 如果交织器位置数组完全填满则结束，否则返回第 (1) 步。

采用上面的步骤，我们产生了不同长度的交织器。若 $S = 1$ ，则成为 KB 随机交织器。我们产生了长度为 $N = 100, 800, 4800$ 三种长度的交织器。

3 系统测试结果

我们在加性高斯白噪声 (AWGN) 信道下测试了 KB 交织器的性能。图 3 中，I 代表迭代次数，1/9 代表 KB 填充的比例，如果不作说明，一律采用 (1, 5/7, 5/7) 的 1/3 编码速率的 turbo 码编译码器，采用 log-MAP 算法软判决译码。长度分别为 $N = 100, 800, 4800$ 。图 3 中，KB 表示是采用 KB turbo 码，而 KB-inter 表示采用 KB turbo 码而且采用 KB S 随机交织器。

图 3 和图 4 分别是采用随机交织器和 KB 随机交织器的 turbo 码性能，系统码字长度为 $N = 100$ ，从图 3 中可以看出，采用 KB turbo 码时，当迭代译码次数 $I = 4$ 时，其性能已经超过传统的 Turbo 码迭代 20 次的性能，可以大大节省迭代译码的时间，而从最终的译码性能看，在相同的迭代次数时，KB 方法要节省 1dB 的信噪比。从图 4 中看到，当 KB turbo 码迭代次数 $I = 3$ 时，即可达到传统译码器 $I = 20$ 时性能，而 $I = 4$ 时即可节省 0.5dB 信噪比。

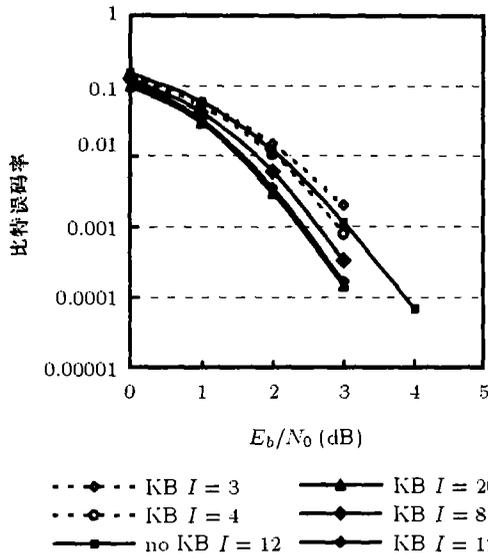


图 3 采用 KB turbo 码, 随机交织器
KB/IB=1/9, N=100

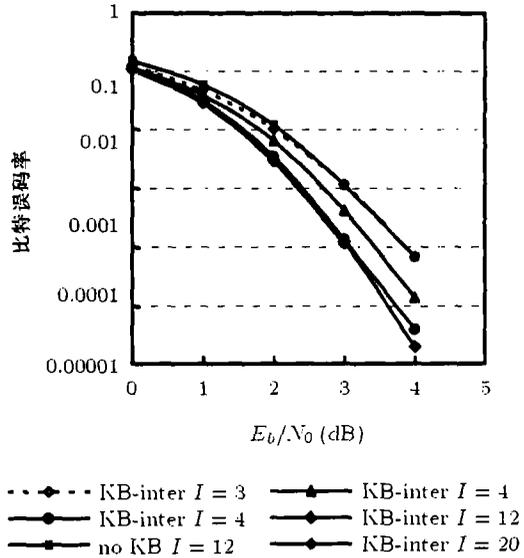


图 4 KB turbo 码, 采用 KB S 随机
KB/IB=1/9, N=100

图 5 和图 6 分别为 $N=800$, 4800 时, 采用 KB 交织器的性能。其中 KB inter 代表采用了 KB 交织器, 而 KB turbo 码代表没有采用特殊的 KB 交织器。而 no KB 代表传统的 turbo 码性能, I 代表迭代次数, $KB/IB=1/9$ 。从图 5 中可以看到, 在达到 10^{-4} 误码率时, no KB、KB Turbo 码、KB inter 三者需要达到的信噪比分别为 2.9, 2.6 和 1.6dB, 采用 KB 交织器性能有了很大提高。从图 6 可以看出, $N=4800$ 时, 在误码率 10^{-4} 时, 采用 KB 交织器方法 $I=8$ 时的性能比传统 turbo 码迭代次数 $I=12$ 时要节省 1dB, 比采用 KB Turbo 码而不采用 KB 交织器的方式所需信噪比少 0.6dB。

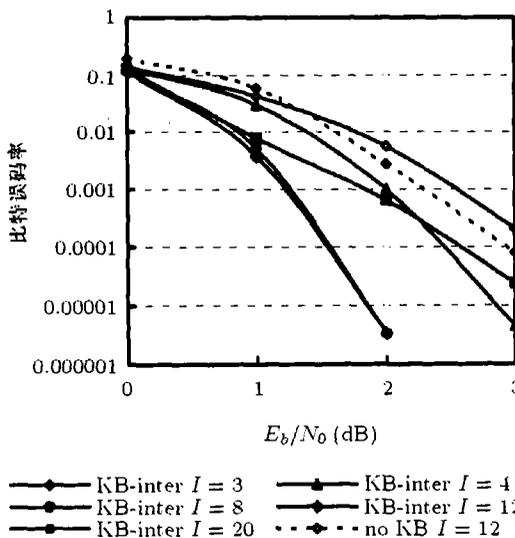


图 5 KB turbo 码, 采用 KB 交织器
KB/IB=1/9, N=800

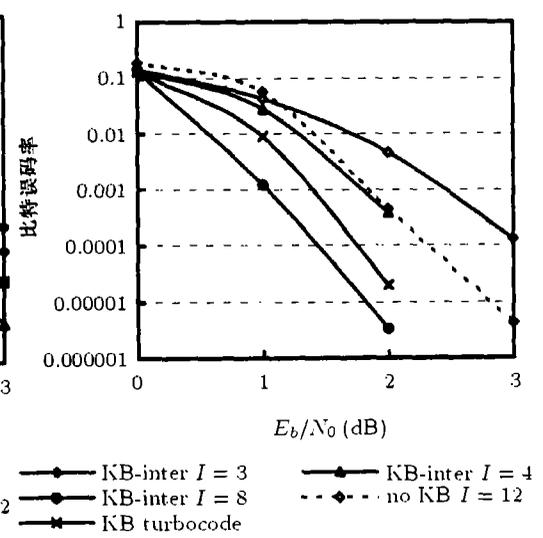


图 6 KB turbo 码, KB 交织器
KB/IB=1/9, N=4800

KB 交织器的设计还可以进一步改进, 采用 S 随机交织方法在实现 KB 交织器时, 还存在一定的问题, 如数 S 不能过大, 否则将不能找到合适的交织器。解决办法: 可以交替填充相邻的 KB 的位置以增加随机性, 还可以在产生数 S 时, 减小需要比较的位置数, 并不一定要达到 S 个数组位置, 只需要保证距离相差 S 即可。

4 结论

本文介绍了 KB Turbo 码的结构, 并提出了 KB 交织器的设计方法和结构。仿真表明, 在不显著增加系统复杂程度, KB 交织器很好的解决了不等差错保护的问题。以伪随机交织器和 S 随机交织器为基础的 KB 交织器显著的提高了系统性能。

参 考 文 献

- [1] T. T. A. Korea TTA, Global CDMA I: Multiband Direct-Sequence CDMA System RTT System Description, Sept. 30, 1998.
- [2] D. Divsalar, S. Dolinar, R. J. McEliece, F. Pollara, Transfer function bounds on the performance of turbo codes, JPL TDA Progress Report 42-122, 1995, Aug., 44-55.
- [3] E. K. Hall, S. G. Wilson, Design and analysis of turbo codes on Rayleigh fading channels, IEEE J. on SAC, 1998, 16(2), 160-174.

INTERLEAVERS FOR KB TURBO CODE

Sun Yi Gao Lu Zhao Jianping Wu Weiling

(Dept. of Infor. Eng., Beijing Univ. of Posts and Telecomm., Beijing 100876, China)

Abstract Known Bits(KB) method is a way of increasing the performance of turbo code by inserting 'known bits' periodically in a code word without increasing in complexity. KB method normally causes uneven protection due to the process of random interleaving. This problem can be solved with a KB interleaver to ensure uniform distribution of KB. It is found that KB interleaver can improve the performance of turbo code with pseudo random interleaver or S -random interleavers. This method also makes a rate-matching to be easy which is fairly important for systems using turbo codes.

Key words Known Bits(KB), Turbo code, Interleaver

孙毅: 男, 1970 生, 博士生, 现研究方向为移动通信中纠错编码, 数字接收机研究。
高路: 女, 1976 年生, 博士生, 现研究方向是数字移动通信, 个人通信与数字卫星通信中的信息处理。
赵建平: 男, 1970 年生, 博士生, 主要研究方向为阵列信号处理、第三代移动通信和多传感器数据融合。
吴伟陵: 男, 1938 年生, 教授, 博士生导师, 国家自然科学基金委学科评审组成员、中国电子学会信息论分会主任委员。现研究方向是数字移动通信, 个人通信与数字卫星通信中的信息处理, 信源与信道编码理论。