

**ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ФОРМИРОВАНИЯ
- ПРИЕМА ТУРБО-КОДОВ**

Назаров Л.Е., Головкин И.В.

Институт радиотехники и электроники РАН, г.Фрязино

Ансамбли дискретных сигналов под общим названием “турбо-коды” были открыты в последнее десятилетие [1] и в настоящее время рассматриваются как одни из наиболее перспективных сигнально-кодовых конструкций для использования в системах передачи дискретных сообщений широкого назначения [2]. Турбо-коды составляют альтернативу известным ансамблям сигналов, включая сигналы на основе сверточных кодов в совокупности с алгоритмом приема Витерби и сигнально-кодовые конструкции на основе каскадных схем кодирования, по отношению к их вероятностным характеристикам и сложности реализации алгоритмов формирования - приема.

Турбо-коды формируются путем параллельного или последовательного включения сигналов, соответствующих сверточным или блоковым кодам [1]. Суть алгоритмов приема турбо-кодов – итеративные процедуры, основанные на вычислении апостериорных вероятностей символов составляющих сигналов и использовании функционалов (extrinsic information) от данных вероятностей в качестве априорной информации для последующей итерации.

Для составляющих высокоскоростных блоковых и высокоскоростных сверточных кодов авторами разработаны алгоритмы оптимального посимвольного когерентного и некогерентного приема, основанные на использовании производительного алгоритма быстрого спектрального преобразования в базе Уолша (БПУ) [3]. По отношению к известным алгоритмам посимвольного приема (например, по отношению к алгоритму MAP (maximum a posteriori probability) и его модификациям [3]) данные алгоритмы более эффективны по отношению к их сложности реализации.

Актуальной является проблема технической реализации разработанных вычислительных процедур формирования и приема турбо-кодов с использованием технических средств вычислительной техники и исследования вероятностно-энергетических характеристик передачи информации с использованием данных устройств.

В докладе приводятся результаты по исследованию особенностей технической реализации средствами цифровой вычислительной техники алгоритмов формирования и приема турбо-кодов на основе блоковых кодов [4]. Данные турбо-коды эквивалентны известным в литературе полным кодам-произведениям [5]. По отношению к турбо-кодам на основе параллельного включения сверточных кодов турбо-коды, формируемые путем последовательного включения блоковых кодов, обладают более высокими вероятностными характеристиками для кодовых скоростей, превышающих 0.7.

Исследовалась зависимость эффективности передачи от числа уровней квантования отсчетов с выхода демодулятора канальных радиосигналов при реализации когерентного и некогерентного итеративного приема в каналах с аддитивным белым гауссовским шумом и в канале с замираниями. Показано, что 8-ми уровневое квантование обуславливает энергетические потери до 0.15 дБ по отношению к использованию неквантованных значений реализации для канала с аддитивным белым гауссовским шумом. Для канала с замиранием и аддитивным белым гауссовским шумом 16-ти уровневое квантование обуславливает энергетические потери до 0.2 дБ.

Приведены также результаты исследований разработанных модификаций алгоритмов итеративного приема турбо-кодов, не требующие знания оценок энергетического параметра сигнал/помеха. Разработанные модифицированные алгоритмы итеративного приема характеризуются меньшей сложностью реализации по отношению к разработанным алгоритмам приема на основе БПУ с использованием оценки данного энергетического параметра, при этом энергетические потери не превышают 0.5 дБ.

С использованием разработанных алгоритмов итеративного приема были реализованы устройства формирования – приема для ряда турбо-кодов с различными объемами информационных блоков и различными кодовыми скоростями. Основу схемотехнического решения устройств формирования – приема турбо-кодов составляет сигнальный процессор (ЦСП) 21065L Analog Device, а также программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) типа XILINX.

Особенности реализации соответствующих устройств формирования – приема турбо-кодов с использованием средств ЦСП и ПЛИС обусловлены их аппаратными возможностями организации параллельных арифметических вычислений, существенно повышающих производительность требуемых вычислительных процедур. Алгоритм БПУ, составляющий основу разработанных вычислительных процедур итеративного приема, обладает свойством параллельности, данное свойство представляет эффективное средство для согласованного исполнения процедур приема рассматриваемых турбо-кодов с использованием программно-аппаратных средств ЦСП и ПЛИС.

Экспериментальное исследование устройств формирования – приема на основе использования ЦСП для ряда турбо-кодов показало, что достижимая информационная скорость не меньше 60 Кбит/сек и 150 Кбит/сек при реализации некогерентного приема и когерентного приема соответственно. Вероятности ошибки на бит $P_b = 10^{-5}$ для рассматриваемых турбо кодов достигались при отношении сигнал/помеха $E_b / N_0 \cong 1.5 \div 3.0$ дБ для когерентного приема и при отношении $E_b / N_0 \cong 3.5 \div 4.8$ дБ для

некогерентного приема. В аналогичных устройствах на основе использования ПЛИС XILINX (SpartanIIЕ) информационная скорость составила 50 Мбит/сек, энергетические потери по отношению к использованию устройств на основе ЦСП достигали 0.6 дБ.

В качестве примера в таблице 1 приведены характеристики устройств формирования – приема (когерентный прием) турбо-кода на основе блокового кода (64,57,4) (длительность кодовых слов турбо-кода 4096, размерность турбо-кода 3249, кодовая скорость 0.8), реализованных с использованием средств ЦСП и ПЛИС.

Таблица 1. Характеристики устройств формирования турбо-кода (4096,3249,16).

Турбо-код	E_b/N_0 , дБ (ЦСП)	Λ , кБит/сек (ЦСП)	E_b/N_0 , дБ (ПЛИС)	Λ , Мбит/сек (ПЛИС)
(4096,3249,16)	3.1	150	3.65	50

Здесь $\frac{E_b}{N_0}$ - отношение сигнал/помеха, E_b - энергия сигнала на бит, N_0 - спектральная плотность

помехи в виде аддитивного белого гауссовского шума, R - информационная скорость передачи.

В докладе приведены результаты исследований эффективности передачи информации с использованием реализованных устройств формирования и приема для ряда турбо-кодов с различными информационными объемами и кодовыми скоростями.

Литература.

1. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo-codes". Proc. IEEE Int. Conf. Communications. ICC'93. 1993. Geneva. Switzerland. P. 1064.
2. Special Issue on the turbo principle: from theory to practice. Part 1. // IEEE Journal Selected Areas in Communications. 2001. V.19. N5.
3. Назаров Л.Е. Алгоритмы посимвольного приема двоичных блоковых кодов.// Радиотехника. 2004. №6. С. 28-35.
4. Назаров Л.Е. Применение алгоритма быстрого преобразования Уолша для итеративного декодирования турбо-кодов на основе двоичных блоковых кодов. // Известия вузов. Электроника. 2003. №1. Стр. 74-83.
5. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. Перев. с англ. М.: Мир. 1976. 594 С.

TECHNICAL IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE OF BLOCK TURBO DECODERS

Nazarov L., Golovkin I.

Institute of Radioengineering and Electronics RAS, Fryazino

There is quite an intensive research activity concerning turbo-codes and related topics, particularly concerning their error-performances and complexity of decoder technical implementation by means of digital signal processors (DSP) and PLIS using. It has been demonstrated that iterative turbo decoding algorithms can perform at rates close to the Shannon limit imposed by the noisy channel coding theorem [1].

In this paper the investigation results of block turbo decoders are reported. The realized version decoders utilize the DSP (21065L ANALOG DEVICES) and PLIS (XILINX). The base of these turbo decoders is iterative algorithms using Fast Hadamard Transformation [2].

The DSP turbo decoder reaches information rate to 150 kbits/s, the PLIS turbo decoder reaches information rate to 50 Mbits/s.

The error-performances of these block turbo decoders are simulated for Gaussian and Rayleigh channels. For BER of 10^{-5} the coding gain obtained is up to 6.5 dB for turbo code (4096,3279) and difference with theoretical Shannon's limit is about 1 dB after three iterations on a Gaussian channel.

Литература.

1. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo-codes". Proc. IEEE Int. Conf. Communications. Turbo-codes". ICC'93. 1993. Geneva. Switzerland. P. 1064.
2. Nazarov L.E. Algorithms for optimal symbol-by-symbol decoding of binary block codes. // Electronics Letters. 1999. V.35. N2. P.138-140.

