

КЛАСС ТУРБО-ПОДОБНЫХ КОДОВ С ПОНИЖЕННОЙ СЛОЖНОСТЬЮ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ

Назаров Л.Е., Головкин И.В.

ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, г.Фрязино, nazarov@ire.rssi.ru

Приведены описания и результаты моделирования разработанных алгоритмов итеративного декодирования для турбо-подобных кодовых конструкций на основе последовательного объединения простейшего сверточного кода и коротких блоковых кодов.

При разработке цифровых систем связи широкого назначения актуальной является проблема синтеза эффективных сигнально-кодовых конструкций, характеризуемых достижением практически предельных вероятностно-энергетических характеристик и одновременно наличием производительных алгоритмов кодирования и декодирования.

В настоящее время наиболее перспективными для использования в подобных системах связи являются помехоустойчивые коды с итеративными процедурами их декодирования. По отношению к вероятностно-энергетическим характеристикам и сложности вычислительных процедур декодирования данные коды составляют альтернативу известным кодам, включая сверточные коды в совокупности с алгоритмом декодирования Витерби и блоковые коды, например, циклические коды и коды Рида-Соломона.

В рассматриваемый класс входят сверточные и блоковые “турбо-коды”. Классические турбо-коды формируются путем параллельного объединения составляющих ансамблей дискретных сигналов, соответствующих рекурсивным сверточным кодам с числом состояний 16 и более. При увеличении объема информационных блоков рассматриваемых кодов до несколько тысяч битов и при применении процедур итеративного декодирования достигаются вероятностно-энергетические характеристики, близкие к предельным характеристикам Шенноновской пропускной способности каналов передачи с аддитивным белым гауссовским шумом для значений вероятностей ошибок на бит $P_b = 10^{-5} \div 10^{-8}$.

Открытие турбо-кодов стимулировало поиск подобных схем кодирования, более простых по отношению к алгоритмам декодирования. К настоящему времени известен ряд таких конструкций, эквивалентных турбо-кодам с последовательным объединением составляющих кодов, известных в литературе под общим названием турбо-подобные коды [1].

В докладе рассматривается класс турбо-подобных кодов, базовые схемы которых основаны на использовании принципа последовательного объединения простейшего сверточного кода с минимально возможным числом состояний, равным 2, и коротких блоковых кодов (биортогональных и симплексных кодов). Данные кодовые конструкции обладают практически эквивалентными вероятностно-энергетическими характеристиками по отношению к классическим турбо-кодам на основе параллельного объединения рекурсивных сверточных кодов, однако имеют ряд полезных свойств, которые определяют их перспективность для использования в рассматриваемых телекоммуникационных космических системах [2]:

- низкая сложность реализации процедур кодирования и процедур итеративного декодирования по отношению к соответствующим процедурам для классических турбо-кодов на основе рекурсивных сверточных кодов;

- наличие широкого класса рассматриваемых кодовых конструкций, характеризуемых различной кодовой скоростью или избыточностью (кодовые скорости от 0.01 до 0.9 и выше) и различными объемами информационных блоков (от сотни до несколько десятков тысяч битов);

- турбо-подобные коды входят в класс низкоплотностных кодов и обладают их основными свойствами, что дает возможность применения методов теории низкоплотностных кодов для исследования характеристик рассматриваемых кодов;

- наличие разработанных процедур итеративного декодирования на основе производительного аппарата быстрого спектрального преобразования в дискретном базисе Уолша-Адамара, которые определяют возможность распараллеливания процедур итеративного

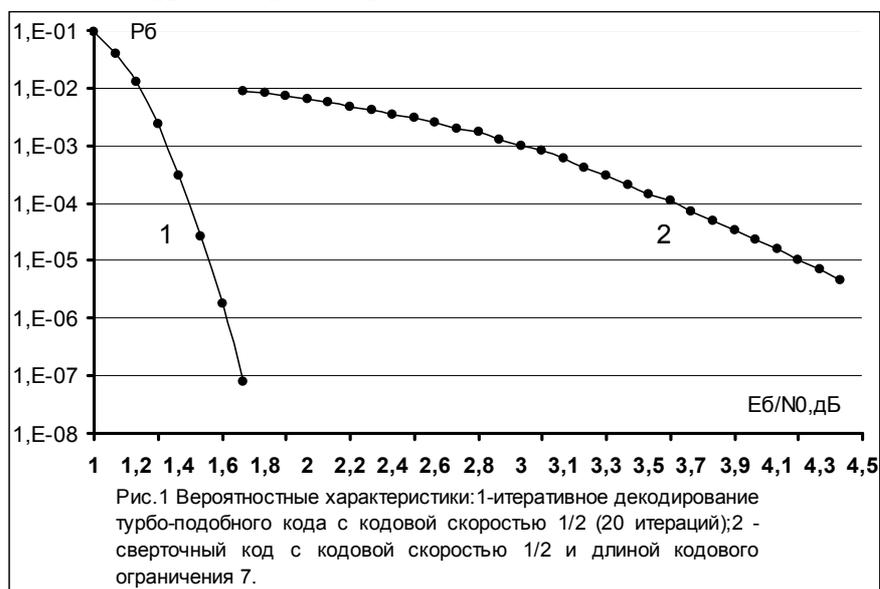
приема при их реализации средствами программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) и достижения высоких скоростей передачи (до 100-150 МГб/сек и выше);

- отсутствие эффекта “выравнивания” вероятностных характеристик (вероятности ошибок на бит P_b) для значений битовых ошибок до $P_b \approx 10^{-9} \div 10^{-10}$, присущего классическим турбо-кодам на основе параллельного объединения рекурсивных сверточных кодов.

В качестве примера на рис.1 приведена кривая 1, соответствующая зависимости вероятности ошибочного приема на бит P_b от отношения сигнал/помеха E_b / N_0 при применении процедуры итеративного приема турбо-подобного кода с кодовой скоростью 1/2 и объемом информационного блока 4000 битов. В данной схеме используется совокупность 1000 коротких биортогональных кодов с параметрами (8,4). Кривая 2 соответствует подобной зависимости для сверточного кода с кодовой скоростью 1/2, длиной кодового ограничения 7 в совокупности с алгоритмом приема Витерби. Видно, что энергетический выигрыш при применении рассматриваемого турбо-подобного кода по отношению к данному сверточному коду для значения вероятности ошибки на бит $P_b = 10^{-5}$ достигает 2.7 дБ. При дальнейшем уменьшении значений битовой ошибки P_b соответствующее значение энергетического выигрыша увеличивается. Здесь E_b - энергия сигналов на информационный бит, N_0 - спектральная плотность (односторонняя) помехи в канале в виде аддитивного стационарного белого гауссовского шума.

В докладе приведены результаты исследования алгоритмов итеративного декодирования для ряда рассматриваемых турбо-подобных кодов, характеризующихся различными кодовыми скоростями и объемами информационных блоков.

Приведены результаты сравнительного анализа вероятностных характеристик и сложности исполнения рассматриваемых турбо-подобных кодов и класса турбо-кодов на основе рекурсивных сверточных и блочных кодов, реализованных авторами средствами ПЛИС и средствами сигнальных цифровых процессоров.



ЛИТЕРАТУРА.

1. Jing L., Narayanan K.R., Georgiades N. Product accumulate codes: a class of codes with near-capacity performance and low decoding complexity.// IEEE Transactions on Information Theory. 2004. Vol.50. N1. P.31-46.
2. Назаров Л.Е., Головкин И.В. Характеристики турбо-кодов с пониженной сложностью алгоритмов приема. Труды 10-ой Международной конференции “Цифровая обработка сигналов и ее применение”. 26-28 марта 2008. Москва. Стр.31.