

О ПОВЕДЕНИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИТЕРАТИВНОГО ПРИЕМА ТУРБО-КОДОВ НА ОСНОВЕ БЛОКОВЫХ КОДОВ

Назаров Л.Е., Головкин И.В.

Институт радиотехники и электроники РАН, г.Фрязино

Ансамбли дискретных сигналов под общим названием 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 ξ (extrinsic information) от данных вероятностей в качестве априорной информации для последующей итерации.

В настоящее время турбо-коды рассматриваются как одни из наиболее перспективных ансамблей сигналов для использования в цифровых системах связи различного назначения. Турбо-коды по сложности реализации алгоритмов формирования – приема, а также по вероятностным характеристикам составляют альтернативу известным ансамблям сигналов на основе сверточных кодов в совокупности с алгоритмом приема Витерби, а также на основе каскадных схем кодирования. Это обуславливает актуальность проблемы изучения свойств алгоритмов итеративного приема, в частности, изучения предельных вероятностных характеристик итеративного приема [2].

Известным алгоритмом вычисления апостериорных вероятностей, который составляет базис итеративного приема турбо-кодов на основе параллельного включения рекурсивных сверточных кодов, является алгоритм МАР (maximum a posteriori probability), а также его модификации. По отношению к данным турбо-кодам турбо-коды, формируемые путем последовательного включения блоковых кодов, обладают более высокими вероятностными характеристиками для кодовых скоростей, превышающих 0.7. Для ансамблей сигналов, соответствующих блоковым кодам, разработан алгоритм вычисления апостериорных вероятностей символов, более простой по сложности реализации по отношению к алгоритму МАР. Его основу составляет использование алгоритма быстрого спектрального преобразования в базисе Уолша (БПУ) [3].

В докладе рассматривается методика исследования предельных вероятностных характеристик итеративного приема турбо-кодов. Методика основана на использовании взаимной информации $I(b, \xi)$ для символов дискретных сигналов b и значений ξ [2], вычисляемых итеративно с применением разработанного алгоритма с применением БПУ

$$I(b, \xi) = \frac{1}{2} \sum_{b=0,1} \int_{-\infty}^{\infty} p(\xi|b) \cdot \log_2 \left(\frac{2p(\xi|b)}{p(\xi|b=0) + p(\xi|b=1)} \right) d\xi.$$

Необходимое условие эффективного функционирования итеративного приема заключается в реализации соотношения $\lim_{i \rightarrow \infty} I(b, \xi(i)) = 1$, при его выполнении вероятность ошибки на бит P_{δ} не

ограничена снизу [4]. Значения взаимной информации $I(b, \xi(i))$ зависят от параметров рассматриваемых

турбо-кодов N, K, D , от номера итерации i , от соотношения сигнал/помеха $\frac{E_{\delta}}{N_0}$, здесь E_{δ} - энергия на

бит, N_0 - односторонняя спектральная плотность помехи, i - номер итерации.

Данная методика дает возможность исследования вероятностных характеристик итеративного приема в зависимости от отношения сигнал/помеха и от числа итераций. Приведены результаты применения данной методики к исследованию процедуры итеративного приема турбо-кодов на основе последовательного включения ансамблей дискретных сигналов, соответствующих блоковым кодам.

Показано, что существуют граничные значения сигнал/помеха, ниже которых вероятность ошибки на бит при применении итеративного приема рассматриваемых турбо-кодов практически остается постоянной независимо от числа итераций. Для значений сигнал/помеха, превышающих граничное значение, вероятность ошибки на бит при применении итеративного приема уменьшается с увеличением числа итераций, приближаясь к верхней границе вероятности ошибки оптимального приема максимального правдоподобия.

На рис.1 приведены кривые, отображающие достижение предельных значений $I(b, \xi)$ итеративного приема турбо-кода на основе блокового кода (64,57,4) (длина кодовых слов $N = 4096$, размерность $K = 3249$) при увеличении числа итераций для канала с аддитивным белым гауссовским шумом. Кривая 1

соответствует значению $\frac{E_b}{N_0} = 2.2$ дБ. Видно, что предельное значение $I(b, \xi(i)) = 0.42$, это определяет выполнение условия для вероятности ошибки на бит $P_b > 0$ независимо от числа итераций. Кривая 2 соответствует значению $\frac{E_b}{N_0} = 2.75$ дБ. В этом случае для предельного значения верно условие $I(b, \xi(i)) = 1$, это является необходимым условием снижения вероятности ошибки P_b при увеличении числа итераций. Путем моделирования определено граничное значение $\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = 2.52$ дБ (кривая 3).

В докладе приведены результаты применения рассматриваемой методики исследования предельных вероятностных характеристик итеративного приема для ряда турбо-кодов с различными параметрами, а также приведено сравнение вычисленных значений предельных вероятностных характеристик с соответствующими значениями, известными в литературе [2].

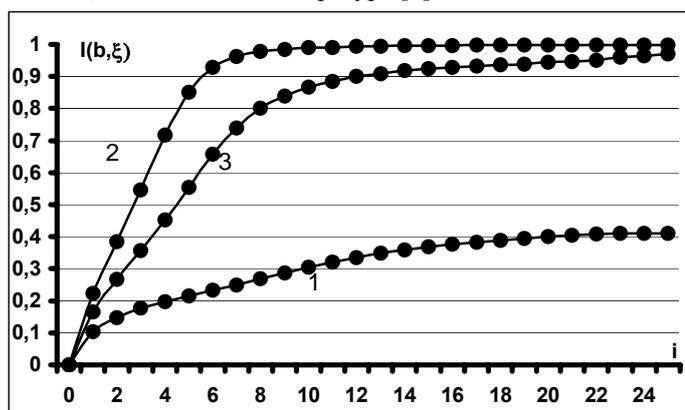


Рис.1. Кривые предельных значений $I(b, \xi)$ при увеличении числа итераций i итеративного приема турбо-кода на основе блокового кода (64,57,4) для канала с аддитивным белым гауссовским шумом: 1– сигнал/помеха 2.2 дБ; 2–сигнал/помеха 2.75 дБ; 3 – сигнал/помеха 2.52 дБ.

Литература

1. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. IEEE Int. Conf. Communications. ICC'93. 1993. Geneva. Switzerland. P. 1064.
2. Lehmann F., Maggio G.M. Analysis of the iterative decoding of LDPC and product codes using the Gaussian approximation.// IEEE Transactions on Information Theory. 2003. V.IT-49. №11. P.2993-3000.
3. Nazarov L.E. Algorithms for optimal symbol-by-symbol decoding of binary block codes. // Electronics Letters. 1999. V.35. N2. P.138-140.
4. Витерби А.Д., Омура Дж.К. Принципы цифровой связи и кодирования. Пер. с англ. М.:Радио и связь. 1982. 536 с.

