

ИТЕРАТИВНЫЙ ПОСИМВОЛЬНЫЙ ПРИЕМ АНСАМБЛЕЙ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ БЛОКОВЫХ КОДОВ

Назаров Л.Е., Головкин И.В.

Институт радиотехники и электроники РАН, Фрязино

Проблеме синтеза процедур итеративного посимвольного приема ансамблей сигналов в последнее время уделяется большое внимание. Актуальность развития этого направления теории помехоустойчивого приема объясняется возможностью применения данных процедур для приема сигналов на основе класса блочных и сверточных кодов, в частности, для приема сигналов на основе низкоплотностных кодов [1].

В данный класс входят коды, допускающие одношаговую ортогонализацию (евклидово-геометрические коды, проективно-геометрические коды), регулярные и нерегулярные низкоплотностные коды Галлагера, сверточные самоортогональные коды [2]. Исследования показывают, что в сочетании с процедурами итеративного приема данные ансамбли сигналов обеспечивают достижение практически предельных вероятностно-энергетических характеристик Шенноновской пропускной способности при увеличении объема информационного блока до несколько десятков тысяч бит [3,4]. Для информационных блоков до несколько сот бит данные ансамбли сигналов с применением процедур итеративного приема составляют альтернативу известным сигнально-кодовым конструкциям на основе каскадных схем кодирования по отношению к сложности реализации алгоритмов формирования-приема и по отношению к их вероятностным характеристикам.

Основу вычислительных процедур итеративного приема рассматриваемых ансамблей сигналов составляют алгоритмы вычисления апостериорных вероятностей символов дискретных сообщений. Известным алгоритмом вычисления апостериорных вероятностей является алгоритм ВР (belief propagation) [3]. Общий подход при разработке и исследовании данного алгоритма, а также его модификаций, основан на использовании методов теории графов Таннера для рассматриваемых ансамблей сигналов [5].

В докладе приводятся результаты исследований нового класса процедур посимвольного приема сигналов, формируемых с использованием низкоплотностных кодов. Основу данных процедур составляют алгоритмы, аналогичные вычислительным алгоритмам, разработанным для итеративного приема турбокодов [6]. Суть данных алгоритмов – представление вычисленных отношений правдоподобия в виде суммы составляющих, которые связаны с априорной вероятностью символов дискретного сообщения, с мягкими решениями на выходе демодулятора и с апостериорной вероятностью символов (extrinsic information). Для последующей итерации величины extrinsic information используются как априорные вероятности символов дискретных сообщений. При разработке итеративных процедур приема также используются свойства рассматриваемых ансамблей сигналов – в частности, возможность организации множества проверочных соотношений ортогональных по проверочным символам.

На рис.1 приведены вероятностные характеристики, полученные путем моделирования разработанных алгоритмов итеративного приема ансамблей сигналов на основе класса низкоплотностных кодов с параметрами (73,45,10), (273,191,18), которые допускают одношаговую ортогонализацию для каждого кодового символа. Кривые 1 и 2 соответствуют вероятности ошибки на бит P_B для ансамбля сигналов на основе кода (73,45,10) при использовании 5 и 3 итераций соответственно. Кривая 3 соответствует вероятности ошибки на бит P_B для ансамбля сигналов на основе кода (273,191,18) (3 итерации).

Недостатком разработанной процедуры посимвольного приема рассматриваемых ансамблей сигналов является необходимость оценивания энергетического параметра канала, а также наличие операций умножения и нелинейных операций типа $\exp(x)$, которые являются трудоемкими для технической реализации.

В докладе приведены результаты исследований модифицированных алгоритмов итеративного приема, которые не требуют оценки энергетического параметра канала и используют лишь арифметические операции сложения-вычитания-сравнения. Использование модифицированных алгоритмов итеративного приема перспективно при их реализации средствами программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Использование данных алгоритмов обуславливает энергетические потери, не превышающие 0.15 дБ по отношению к исходному алгоритму. Кривая 4 соответствует вероятности ошибки на бит P_B для ансамбля сигналов на основе кода (73,45,10) с использованием модифицированного алгоритма итеративного приема (3 итерации).

Приведены результаты сравнительного анализа вероятностно-энергетических характеристик разработанных алгоритмов посимвольного приема рассматриваемых ансамблей сигналов с вероятностными характеристиками алгоритма ВР и его модификаций.

В докладе приведены параметры реализованных устройств приема-формирования программируемых логических интегральных схем (XILINX) для ряда рассматриваемых ансамблей сигналов с различными кодовыми скоростями и информационными объемами.

Литература

1. Gallager R.G. Low-density parity-check codes. IRE Trans. MIT Press. Cambridge. MA. 1963.
2. Кларк Дж., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. Пер. с англ. М.: Радио и связь. 1987.
3. MacKay D.J.C. Good error-correcting codes based on very sparse matrices.// IEEE Trans. Inform. Theory. 1999. V. IT-45. P. 399-431.
4. MacKay D.J.C., Neal R.M. Near Shannon limit performance of low density parity check codes.// Electron. Lett. 1996. V.32. N32. P.1645-1646.
5. Tanner R.M. A recursive approach to low complexity codes.// IEEE Trans. Inform. Theory. 1981. V. IT-27. P. 533-547.
6. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. IEEE Int. Conf. Communications. ICC'93. 1993. Geneva. Switzerland. P. 1064.

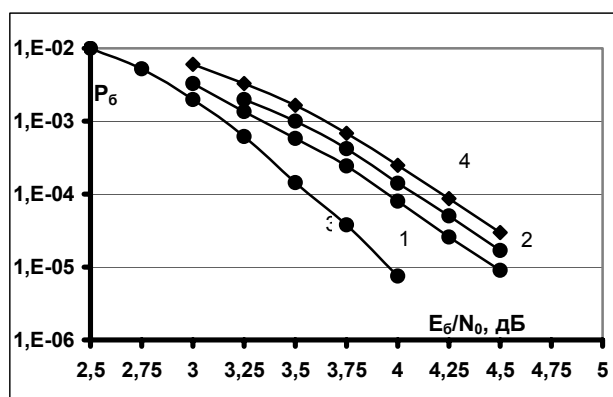


Рис.1. Вероятности ошибки на бит при посимвольном приеме ансамблей сигналов: 1 – на основе кода (73,45,10) (итеративный посимвольный прием, 5 итераций); 2 – на основе кода (74,45,10) (итеративный посимвольный прием, 3 итерации); 3 – на основе кода (273,191,18) (итеративный посимвольный прием, 3 итерации); 4 – на основе кода (73,45,10) (модифицированный алгоритм посимвольного приема, 3 итерации).