

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПРИ МЯГКОМ ДЕКОДИРОВАНИИ В КАНАЛАХ С МНОГОЛУЧЕВОСТЬЮ И ПЕРЕМЕЖЕНИЕМ КОДОВЫХ СИМВОЛОВ

Алышев Ю.В., Борисенков А.В., Кловский Д.Д., Николаев Б.И.

Поволжская Государственная академия телекоммуникаций и информатики
443010, Россия, Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. (8-8462) 335558, e-mail: klovsky@pgati-vt.da.ru

В докладе приводятся результаты компьютерного моделирования помехоустойчивости модифицированных алгоритмов Кловского–Николаева (МАКН) и модифицированного алгоритма Витерби (МАВ) для мягкого декодирования в многолучевых каналах (каналах с межсимвольной интерференцией) с аддитивным белым гауссовским шумом при перемежении кодовых символов.

Поскольку МАКН обеспечивает совместную демодуляцию-декодирование, он даёт относительно МАВ выигрыш по мощности, возрастающий с уменьшением требуемой вероятности ошибки на бит (ВОБ). При $ВОБ = 10^{-6}$ выигрыш равен 3,1 дБ.

1. Краткое описание модифицированного алгоритма Витерби (МАВ) и модифицированного алгоритма Кловского–Николаева (МАКН)

Схема, реализации МАВ для мягкого декодирования свёрточного кода в каналах с МСИ, АБГШ и перемежением кодовых символов приведена в работе [1]. Она состоит из последовательно соединённых блоков: блок SOVA, деперемежитель, декодер Витерби. Блок SOVA последовательно выдаёт жёсткие решения демодулятора по отдельным кодовым символам (посредством алгоритма Витерби) и информацию о надёжности этих символов, которую учитывает декодирующее устройство. Поскольку в рассматриваемой схеме до вынесения окончательного решения отбрасывается информация о передаваемых канальных символах (каждый из них определён на передаче на тактовом интервале T), обусловленная памятью канала, то она не является оптимальной.

Альтернативный вариант алгоритма мягкого декодирования, учитывающий и память канала (алгоритм совместной демодуляции-декодирования), который назван МАКН, можно, с учётом некоррелированности АБГШ на отдельных временных интервалах, на которых присутствуют отклики канала на отдельные кодовые символы, записать так

$$\hat{i} = \arg \min_{i, l(r)} \left\{ \sum_{r=0}^{n-1} \int_{rT_a^*}^{rT_a^* + (D+1)T} [z_r(t) - \hat{s}_{МСИ, r}(t) - s_{b_i, b_l, r}(t)]^2 dt \right\}, \quad (1)$$

где $z_r(t) = s_{b_i, b_l, r}(t) + s_{МСИ, r}(t) + n(t)$ – принимаемый сигнал плюс АБГШ $n(t)$ со спектральной плотностью мощности на положительных частотах N_0 на r -м подынтервале анализа ($r = \overline{0, n-1}$), $T_a^* = (D+1)T$ – интервал анализа кодового символа, i – номер кодового блока (символа источника информации), ($i = \overline{1, M}$), M – число различных сообщений (разрешённое число кодовых комбинаций), \hat{i} – его оценка;

$s_{МСИ, r}(t)$ – сигнал МСИ на r -м интервале, обусловленный символом, переданным до анализируемого и определяемый обратной связью по решению (ОСР), $\hat{s}_{МСИ, r}(t)$ – оценка этого сигнала;

$s_{b_i, b_l, r}(t) = s_{b_i, r}(t) + s_{b_l, r}(t)$ – сигнал на r -м подынтервале, обусловленный передачей i -го кодового блока и l -го сопровождающего кодового блока (сигнал МСИ);

$D \geq L$ – относительный (измеряемый числом тактов) интервал задержки;

$L = \left\lceil \frac{\Delta\tau_{\max}}{T} \right\rceil$ – относительная память канала, $\Delta\tau_{\max}$ – максимальное время рассеяния в канале;

n – число кодовых символов кодового блока.

При реализации алгоритма (1) следует иметь в виду, что для нахождения сигналов $s_{\text{МСИ},r}(t)$ ($r = \overline{0, n-1}$), определяемых ОСР, принимаемый сигнал должен анализироваться на временном интервале $T_a = [(n-1)N + D + 1]T$,

$$N = \left\lceil T_{\text{пер}}/T \right\rceil, \text{ где } T_{\text{пер}} - \text{интервал перемежения кодовых символов.}$$

Строгая реализация (1) невозможна, поскольку вычислительная сложность пропорциональна экспоненциальной зависимости от параметров N, D, n . Однако, разработаны упрощённые реализации МАКН, которые имеют вычислительную сложность, пропорциональную квадрату этих параметров и незначительно уступающие по помехоустойчивости точной реализации МАКН. Алгоритм (1) приемлем для мягкого декодирования как блочных кодов (n, k) со скоростью кодирования $R = k/n$, так и для декодирования свёрточных кодов, если под n понимать число $n = \nu \cdot \varepsilon \cdot Q$, где ν – кодовое ограничение, ε – глубина принятия решения ($\varepsilon = 2$ при использовании МАКН), а скорость кода $R = \lambda/Q$.

2. Результаты компьютерного моделирования

Для сопоставления помехоустойчивости модифицированного АВ, приведённого в [1] и модифицированного АКН выполнено компьютерное моделирование системы передачи двоичных противоположных сигналов, отображающих кодовые биты. При моделировании по каналу с относительной памятью $L = 0, 1, 2$ при независимых релейских замираниях различных лучей и учёте АБГШ передавалась информационная последовательность блоками по 124 бита, разделёнными защитными промежутками. Эти блоки подвергались свёрточному кодированию при кодовым ограничении $\nu = 4$, скорости кода $R = 1/2$ и порождающих полиномах (31, 33) (параметры из стандарта мобильной сотовой связи GSM). Получающиеся кодовые блоки длиной 256 бит подвергались перемежению, так что кодовые элементы оказывались разнесёнными на $N = 16$ тактовых интервалов. В канале моделировались независимые релейские замирания отдельных кодовых элементов. В табл. 1 даны экспериментальные зависимости ВОБ $p_b(E_b/N_0)$, полученные при моделировании модифицированного АКН при мягком декодировании, E_b – энергия сигнала на бит. В той же таблице даны экспериментальные зависимости для модифицированного АВ [1].

Таблица 1. Зависимость отношения сигнал-шум E_b/N_0 , дБ для МАВ и МАКН в частотно-селективном замирающем канале.

	$p_b(E_b/N_0)$	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}
$L=0$	МАВ	4,3	6,15	7,7	9,1	10,5
	МАКН	3,0	4,4	5,5	6,5	7,4
$L=1$	МАВ	3,9	5,45	6,7	7,8	8,9
	МАКН	2,5	3,7	4,7	5,6	6,5
$L=2$	МАВ	3,8	5,2	6,3	7,4	8,5
	МАКН	2,3	3,4	4,4	5,25	7,1

3. Выводы

Модифицированный алгоритм АКН для мягкого декодирования в каналах с МСИ и АБГШ при перемежении символов на передаче обеспечивает по сравнению с модифицированным алгоритмом Витерби (АВ) [1] существенный энергетический выигрыш. Этот выигрыш растёт по мере уменьшения заданной вероятности ошибки на бит и падает по мере увеличения числа лучей в канале. В однолучевом канале энергетический выигрыш равен 3,1 дБ при $\text{ВОБ} \geq 10^{-6}$.

Инженерная реализация обсуждаемого алгоритма не вызывает принципиальных затруднений.

Литература

1. J. Hagenauer, P. Hoeher, A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications, Proc. GLOBECOM'89 P. 1680–1686.
2. D. Klovsky, B. Nikolaev, E. Habarov, Y. Alyshev The simplified algorithms of digital signals demodulation in space - time channels with an intersymbol interference and additive white gaussian noise. World Multiconference on Systemic, Cybernetics and Informatics (SCI 2001), July 22–25, 2001, Orlando, Florida, USA, Proceedings, vol. XII, Comm. Systems and Internet: Part II, pp. 392–395



DIGITAL SIGNAL PROCESSING AT SOFT DECODING IN MULTIPATH CHANNELS WITH INTERLEAVING OF CODED DATA

Alyshev Y., Borisenkov A., Klovsky D., Nikolaev B.

Povolgskaja Gosudarstvennaja (State) academy of Telecommunications and Informatik
Lva Tolstogo str., 23, Samara, 443010, Russia. Phone (8-8462) 335558, e-mail: klovsky@pgati-vt.da.ru

In the report are bring results of computer modeling of noise-proof of modified Klovsky–Nikolaev algorithms (MKNA) and modified Viterbi algorithm (MVA) for soft decoding in multipath channels (channels with the intersymbol interference – ISI) with additive white Gaussian noise by interleaving of coded data.

As far as MKNA ensures a joint demodulation and decoding, it gives comparatively MVA a power gain, increasing with reducing of required error probability per bit (BER). By the $BER=10^{-6}$ the power gain is equal 3.1 dB.

1. Short description of modified Viterbi algorithm (MVA) and modified Klovsky–Nikolaev algorithm (MKNA)

Scheme, realization MVA for soft decoding an convolutional code in channels with ISI, AWGN and interleaving of coded data is provide in work [1]. It consists of consecutively united blocks: block SOVA, deinterleaver, Viterbi decoder. Block SOVA consecutively gives a hard deciding a demodulator on separate code symbols (by means of the Viterbi algorithm) and information on symbol reliability, which takes a decoding device into account. As far as in the considered scheme before entry of final deciding is rejected information on channel memory.

Alternative variant of algorithm of soft decoding, which take into account channel memory (algorithm to joint demodulation-decoding), is named MKNA.

Strong realization of this algorithm is impossible, as far as computing difficulty is proportional exponential dependency from parameters N (number of signal intervals on the interleaving interval T_i), D (decision delay), n (length of the analyzed coded block). However, is designed simplify realization of MKNA, which have a computing difficulty, proportional square of these parameters and is small yield on noise-immunity of exact realization of MKNA [2]. MKNA can processing as with block codes (n, k) at the code rate $R = k/n$, so and for decoding the convolutional codes, if $n = v \cdot \varepsilon \cdot Q$, where v – code constraint length, ε – depth of decision making ($\varepsilon = 2$ by using MKNA), and velocity of code $R = \lambda/Q$.

2. Results of computer modeling

For the comparison of noise-proof modified VA, provide in [1] and modified KNA computer modeling of transmission system of binary opposite signals is executed. At modeling on the channel with the relative memory $L = 0, 1, 2$ with independent Raleigh fading in different paths and AWGN information sequence by blocks on 124 bits, divided by defensive gaps was send. These blocks were subjected to convolutional coding with the constraint length $v = 4$, velocities of code rate $R = 1/2$ and generating polynomials (31, 33) (parameters from the GSM). Getting code blocks by the length 256 bits were subjected to the interleaver, so that the code elements was diversified on the time interval with the parameter $N = 16$. In the channel independent Raleigh fading for the separate code elements was modeling.

3. Conclusions

Modified algorithm KNA for soft decoding in channels with ISI and AWGN by interleaving of coded data give essential power gain in compare with the modified Viterbi algorithm (VA). This power gain grows by reducing of the required BER and falls by increasing of the number of channel paths. In the one-path channel the power gain is equal 3,1 dB for $BER=10^{-5}$.

1. J. Hagenauer, P.Hoeher, A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications, Proc. GLOBECOM'89 P. 1680–1686.

2. D. Klovsy, B. Nikolaev, E. Habarov, Y. Alyshev The simplified algorithms of digital signals demodulation in space - time channels with an intersymbol interference and additive white gaussian noise. World Multiconference on Systemic, Cybernetics and Informatics (SCI 2001), July 22–25, 2001, Orlando, Florida, USA, Proceedings, vol. XII, Comm. Systems and Internet: Part II, pp. 392–395