

# ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА КЛОВСКОГО–НИКОЛАЕВА ПРИ МЯГКОМ ДЕКОДИРОВАНИИ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ

Кловский Д.Д., Петров О.А., Хабаров Е.О.

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

**Реферат.** Рассматривается проблема реализации субоптимального декодера мягких решений при декодировании сверточных кодов в каналах с межсимвольной интерференцией (МСИ) по алгоритму Кловского-Николаева (АКН). Сокращение необходимого объема программной памяти достигается тем, что последовательность перебираемых символов разбивается на две последовательности, связанных между собой как за счет МСИ, так и кодовой связью. Такой подход позволяет уменьшить необходимый объем программной памяти в 64 раза.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Учет архитектурных особенностей современных цифровых процессоров обработки сигналов (ЦПОС) позволяет реализовать мягкое декодирование последовательности сигнальных элементов, кодированных сверточным кодом, при достаточно высокой скорости модуляции и существенных интервалах рассеяния.

Например, при скорости модуляции 4,8 Кбит/с и интервале рассеяния в канале связи 6 мс, ЦПОС TMS320C62 позволяет реализовать мягкое декодирование сигналов сверточного кода со скоростью  $R = 1/2$  и кодовым ограничением  $v = 8$  на основе алгоритма Кловского-Николаева (АКН) при полном переборе всех возможных альтернатив (общее число которых составляет  $2^{15}$  для двоичных информационных символов). При этом следует отметить, что такой результат возможен только при использовании линейных программ, что требует неприемлемого большого объема программной памяти. При использовании циклической программы можно добиться существенно меньшего объема программной памяти, но при этом существенно возрастает необходимый объем вычислительных операций.

В данной работе рассматривается комбинированный подход, позволяющий при достаточно высокой производительности добиться компактности программы, уменьшив ее полный объем в 64 раза.

## 2. ДЕКОДИРОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ НА ОСНОВЕ АКН

Основной особенностью демодулятора - декодера по сравнению с обычным демодулятором является то, что демодулируемые сигнальные элементы взаимодействуют между собой как вследствие рассеяния в канале связи (МСИ в непрерывном канале), так и за счет кодовой связи (МСИ в дискретном канале).

В модеме СИИП-1200 (информационная скорость 1200 Бит/с) [1,2] предполагаем использовать корреляционный вариант АКН, обладающий рядом преимуществ при реализации на сигнальном процессоре:

$$\hat{i} = \arg \max_i \{J_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, 2^D \quad (1)$$

где функционал правдоподобия  $J_i$  определяется соотношением:

$$J_i = \sum_{k=0}^D \beta_{i,k} V_k - E_i \quad (2)$$

где  $\beta_{i,k}$  –  $k$  кодовый символ  $i$  перебираемой разрешенной кодовой комбинации,

$V_k = (\mathbf{Z} - \mathbf{S}_{oc})^T \times \boldsymbol{\varphi}_k$  – проекции вектора анализируемого сигнала на направления векторов соответствующих сигнальных элементов (ограниченных временными рамками интервала анализа),

$\mathbf{Z} - \mathbf{S}_{oc} = \sum_{i=0}^D b_i \boldsymbol{\varphi}_i + \mathbf{n}$  – вектор принимаемой смеси сигнала с шумом с учётом действия

обратной связи по решению (ОСР), определяющей оценку сигнала  $\hat{\mathbf{S}}_{oc}$ ,

$$b_i = 2c_i - 1, b_i \in \{-1, +1\}, c_i \in \{0, 1\},$$

$\mathbf{n}$  – вектор аддитивной помехи в виде белого гауссовского шума (АБГШ),

$\boldsymbol{\varphi}_k$  – векторы сдвинутых во времени единичных элементов принимаемого сигнала.

Следует отметить, что число информационных символов на интервале принятия решения

$$D = v\varepsilon + (Q + 1)R - 1, \quad (3)$$

где  $Q$  – относительная память канала (измеренная числом канальных символов),

$R = 1/2$  – скорость свёрточного кода,

$v = 8$  – кодовое ограничение свёрточного кода,

$\varepsilon = 2$  – множитель, определяющий глубину принятия решения при использовании

АКН.

Однако возможности процессора не всегда позволяют обеспечить число перебираемых альтернатив равное  $2^D$ . Применительно к радиомодему СИИП-1200 на ЦПОС TMS320C62 удалось достичь  $D = 15$ , что в широком классе каналов обеспечивает помехоустойчивость, близкую к потенциальной.

Пороговые значения  $E_k$  в соотношении (2) определяются как квадраты нормы соответствующих опорных векторов:

$$E_k = \frac{1}{2} \|\mathbf{s}_k\|^2, \quad (4)$$

где  $\mathbf{s}_i = \sum_{k=0}^D \beta_{i,k} \boldsymbol{\varphi}_k$  – сигнальные последовательности соответствующие разрешенным

кодovým комбинациям принимаемой последовательности.

Когда аддитивная помеха является АБГШ, величины  $V_k$  являются достаточными статистиками, т.е. содержат всю информацию об анализируемом сигнале.

При поиске максимума функционала правдоподобия в соответствии с (1) перебираются только разрешённые кодовые комбинации. Процедуру перебора полагаем осуществлять в соответствии со следующей стратегией.

Пороговые значения  $E_k$  вычисляются заранее и загружаются в оперативную память один раз в течение интервала стационарности канала связи. Линейная составляющая функционала

правдоподобия  $W_i = \sum_{k=0}^D \beta_{i,k} V_k$  представляется в виде двух компонент  $W0_i + W1_i$ , которые

перебираются на каждом тактовом интервале в соответствии с рекуррентной процедурой  $W0_{i+1} = W0_i + \Delta0_i$ ,  $W1_{i+1} = W1_i + \Delta1_i$ ,

$$\text{где } \Delta0_i = W0_{i+1} - W0_i = \sum_k (\beta_{0,i,k+1} - \beta_{0,i,k}) V_k, \quad \Delta1_i = W1_{i+1} - W1_i = \sum_k (\beta_{1,i,k+1} - \beta_{1,i,k}) V_k.$$

Перебор всех возможных цепочек информационных символов необходимо осуществлять по процедуре Грея. При этом новый вариант  $W_{i+1}$  в среднем отличается от предыдущего значения  $W_i$  минимальным числом символов.

Учёт архитектурных особенностей сигнального процессора, например TMS320C62, позволяет реализовать полный перебор всех возможных вариантов функционала правдоподобия при корреляционном варианте АКН в расчёте один такт процессора на перебираемую альтернативу при использовании линейной программы. Однако реализация линейной программы при переборе  $2^{15}$  альтернатив требует неприемлемо большого объёма программной памяти.

Поэтому была реализована линейная программа перебора восьми последних информационных символов и программа перебора семи первоначальных символов. Причём последняя программа обращается к первой как к подпрограмме. После перебора всех возможных альтернатив принимается решение о первом информационном символе, которое соответствует максимальному значению функционала правдоподобия. При реализации такого подхода необходимо учесть, что сигнальные элементы, соответствующие обеим подгруппам, связаны между собой как за счёт МСИ, так и кодовой связи [3].

## ВЫВОДЫ

В данной работе использовано разбиения функционала правдоподобия на две зависимые (из-за кодовой связи) составляющие, перебор информационных последовательностей в которых производится соответствующей подпрограммой. Согласно данному разбиению программа полного перебора, которая имела бы размер  $\lambda \cdot 2^{15}$  ячеек программной памяти, разбилась на две подпрограммы размером  $\lambda \cdot 2^7$  и  $\lambda \cdot 2^8$  соответственно, общий объем которых приблизительно в 64 раз меньше, чем размер исходной программы. Рассматриваемый способ можно обобщить разбиением программы на большее число составляющих.

Выбор конкретного способа разбиения программы перебора зависит от длин перебираемых последовательностей информационных символов и сложности получаемых при разбиении вычислительных формул.

Учёт архитектуры процессора TMS320C62 позволяет реализовать полный перебор функционала правдоподобия затрачивая лишь один такт процессора на перебираемую альтернативу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. – М.: Радио и связь, 1982. – 304с. (2-е издание)
2. Кловский Д.Д., Николаев Б.И. Инженерная реализация радиотехнических схем. – М.: Связь, 1975. – 200с.
3. Прокис Дж. Цифровая связь (Под редакцией д.т.н., проф. Кловского Д.Д.). – М.: Радио и связь, 2000, 797с.



**PROBLEMS OF DIGITAL REALIZATION OF KLOVSKY-NIKOLAEV ALGORITHM AT SOFT DECODING CONVOLUTIONAL CODES**

Klovsky D., Petrof O. Habarov E.

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

**Abstract.** The problem of realization of the suboptimal decoder of the soft decisions is considered by convolutional codes in channels with intersymbol interference by algorithm of Klovsky-Nikolaev. The shortening of necessary volume of program memory is achieved by the broken of information sequences in two sequences, correlated among themselves as for the account ISI, and code memory. Such approach has allowed to reduce necessary volume of program memory in 64 times.

**STATEMENT OF PROBLEM**

The account of architectural features of modern digital processors of processing of signals (DSP) allows to realize soft decoding of a sequence of signal elements coded by the convolutional code at enough high speed of modulation and essential intervals of dispersion.

For example, at speed of modulation 4,8 KBit/s and interval of dispersion in the channel 6 ms, DSP TMS320C62 allows to realize soft decoding signals of convolutional code with rate  $R = 1/2$  and constrain length  $v = 8$  on the algorithm of Klovsky-Nikolaev (KNA) at full sort of all possible alternatives (with number  $2^{15}$  for binary information symbols). It is necessary to note, that such result is possible only at use of the linear programs, that requires unacceptable large volume of program memory.

In the given work the combined approach allowing at enough high efficiency to achieve of compactness of the program is considered having reduced its complete volume in 64 times.

**CONCLUSIONS**

In the given work the theoretical results of splitting of likelihood functional on two dependent (because of code memory) components sort of information sequences in which is made by the appropriate subroutine. According to the given splitting the sorting program it is total amount approximately in 64 times is less, than size of the initial program. The considered way is not limited to splitting of the program into two components.

The account of architecture of the processor TMS320C62 allows to realize sorting of likelihood functional spending only one processor cycle on alternative.

**REFERENCES**

1. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. – М.: Радио и связь, 1982. – 304с. [Klovsky D.D. Transmission of digital messages through radiochannels.– Moskow, Publ. Radio i Swjaz, 1982, 304p.]
2. Кловский Д.Д., Николаев Б.И. Инженерная реализация радиотехнических схем. – М.: Связь, 1975. – 200с. [Klovsky D.D., Nikolaev B.I. Engineering realization of the radio engineering circuits. – Moskow, Publ. Swjaz, 1975. – 200p.]
3. Proakis J. G. Digital communication. Mc.Graw-Hill, 1995, 3-ed (published in Russia under the edition of D.D. Klovsky, Moskow, Radio i Swjaz, 2000, 797p.)