

# СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ЭХА И ШУМОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ АЛГОРИТМЫ С ПСИХОАКУСТИЧЕСКОЙ МОТИВАЦИЕЙ, НА БАЗЕ ОДНОГО ПРОЦЕССОРА TMS320C541

Петровский А.А., Аношенко А.Е.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
220027, Минск, ул. П.Бровки, 6 (Беларусь)  
Tel:+375 172 312910; Fax: +375 172 310914; E-mail: [palex@it.org.by](mailto:palex@it.org.by)

**Реферат.** В данной работе представляется реализация комбинированной системы подавления эха и шумового сигнала с помощью секционированного блочного адаптивного фильтра в частотной области и психоакустического алгоритма подавления шума на базе одного процессора TMS320C541. В докладе рассматривается алгоритм работы системы, оцениваются временные затраты на выполнение различных этапов алгоритма, проводится анализ вычислительной сложности системы в целом, а также исследуется емкостная сложность алгоритмов.

## Введение

В последние годы, особенно после принятия рядом стран закона запрещающего использование мобильного телефона за рулем, в передвижных средствах связи все большее применение находят громкоговорящие системы. При использовании данных систем требуется решение двух основных проблем. Первой проблемой является акустическое эхо от громкоговорителей и второй – шумы окружающей среды.

Для подавления эха и шумового сигнала наибольшее применение нашли комбинированные системы, осуществляющие совместное подавление данных составляющих. Наибольшее распространение получила схема построения комбинированной системы подавления шума и эха показанная на рис. 1. Другие варианты построения комбинированных систем проведены в работе [1].

Наибольшее распространение на сегодняшний день при построении подсистемы подавления эха сигнала нашел нормализованный алгоритм метода наименьших квадратов (НМНК) [2], а для построения подсистемы подавления шума – алгоритм на основе метода спектрального вычитания. Однако НМНК алгоритм обладает высокой вычислительной сложностью, что затрудняет его использование для подавления эха большой длительности, а метод спектрального вычитания вносит в сигнал искажения называемые “музыкальным” тоном [3]. От этих двух недостатков позволяет избавиться система предложенная в работе [4]. В данной системе в качестве подсистемы подавления эха сигнала используется секционированный блочный адаптивный фильтр с обработкой сигнала в частотной области [5], позволяющий на порядок снизить вычислительную сложность системы, а в качестве подсистемы подавления шума – алгоритм спектрального вычитания с психоакустической мотивацией [6,7], который позволяет повысить качество подавления шума и остаточного эха и избавиться от эффекта “музыкального” тона.

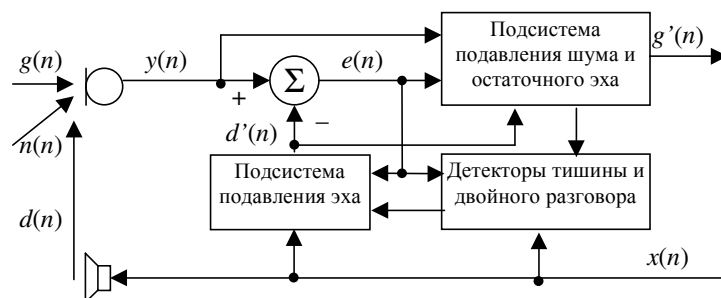


Рис.1. Одномикрофонная комбинированная система подавления эха и редактирования шума.

В данной работе рассматривается реализация системы, предложенной в работе [4], на базе одного DSP процессора TMS320C541.

## Алгоритм работы системы

Блок схема алгоритма, описание принципов функционирования основных подсистем, а так же результаты моделирования работы системы приведены в работе [4].

В данной системе сигнал обрабатывается блоками по  $Q = 128$  отсчетов. При этом импульсная характеристика адаптивного фильтра длины  $N$  разбивается на  $N/Q$  секций и обработка сигнала осуществляется по секциям. Для снижения вычислительной сложности вся обработка сигналов происходит в частотной области с использованием ДПФ длины  $M = 256$ .

Алгоритм работы представленной системы подавления эха и шумов окружающей среды состоит из следующих этапов:

1. Формирование блока входных данных  $x$  размером  $M$ :  $x_{M,n} = [x_{Q,n-1} \quad x_{Q,n}]$ . Данный этап выполняется за 132 машинных такта.
2. Вычисление ДПФ входного сигнала  $x_{M,n}$ . ДПФ формата 256 оформлен в виде подпрограммы, которая вызывается и на последующих этапах работы системы. Подпрограмма ДПФ выполняется за 7126 машинных такта.
3. Вычисление  $N/Q$  сверток:  $D_{M,i} = X_{M,n-i} \otimes H_{M,i}$ . Время выполнения –  $N/Q \cdot 1538$  машинных тактов.
4. Расчет сигнала на выходе фильтра предсказателя эха:  $D_M = \sum_{i=0}^{N/Q} D_{M,i}$ . Время выполнения –  $N/Q \cdot 516$  машинных тактов.
5. Устранение цикличности в сигнале  $D_M$ . Для выполнения данной операции блок переводится во временную область, младшие  $Q$  отсчетов заменяются нулями и блок переводится назад в частотную область. Время выполнения – 14328 машинных тактов.
6. Вычисление ДПФ предсказанного эха  $D'_M$ :  $D'_{M,n} = D_{M,n} + W^Q D_{M,n-1}$ . Время выполнения – 1810 машинных тактов.
7. Формирование блока входных данных  $y$  размером  $M$ :  $y_{M,n} = [0_Q \quad y_{Q,n}]$ . Время выполнения – 132 машинных такта.
8. Вычисление ДПФ входного сигнала  $y_{M,n}$ . Время выполнения – 7126 машинных тактов.
9. Вычисление ДПФ блока входных данных  $y_{M,n} = [y_{Q,n-1} \quad y_{Q,n}]$ :  $Y'_{M,n} = Y_{M,n} + W^Q Y_{M,n-1}$ . Время выполнения – 1810 тактов.
10. Вычитание из входного сигнала  $Y'_M$  сигнала предсказанного эха  $D'_M$ :  $E'_M = Y'_M - D'_M$ . Время выполнения – 518 машинных тактов.
11. Оценка спектральной плотности мощности (СПМ) сигналов  $E'_M$ ,  $Y'_M$  и  $D'_M$ . Время выполнения – 4628 машинных тактов.
12. Расчет передаточной функции подсистемы подавления акустического эхо сигнала:  $F_i = (S_{y',i} - S_{e',i} - S_{d',i}) / (S_{y',i} - S_{e',i} + S_{d',i})$ . Время выполнения – 5135 машинных тактов.
13. Оценка спектральной плотности мощности остаточного эха:  $S_{b,i} = (F_i / (1 - F_i))^2 \cdot S_{d',i}$ . Время выполнения – 4242 машинных такта.
14. Оценка СПМ шума. СПМ сигнала  $E'_M$  сравнивается с минимальной СПМ данного сигнала в течение последних 0,3 с и находится новая минимальная СПМ. В качестве СПМ шума принимается минимальное из последних пяти временных участков длительностью 0,3 с. Время выполнения – 2242 машинных такта.
15. Оценка, прореживание и реорганизация тональных и шумовых маскеров [8]. Время выполнения – 4648 машинных тактов.
16. Расчет индивидуальных порогов маскирования сигнала  $E'_M$  в пределах критических полос [8]. Время выполнения – 3926 машинных тактов.
17. Расчет глобального порога маскирования  $T_M$  на основе индивидуальных порогов маскирования [8]. Время выполнения – 794 машинных такта.
18. Расчет взвешивающей функции действительно заметных искажений  $H_{JND}$ . Время выполнения – 8686 машинных тактов.
19. Перцептуальное взвешивание сигнала  $E'_M$ .  $G_M = E'_M H_{JND}$ . Время выполнения – 1682 такта.
20. Вычисление ОДПФ взвешенного сигнала  $G_M$  и передача старшей половины результата функции выдачи сигнала в линию, которая осуществляет запись отсчетов в порт ЦАП. Время выполнения – 7524 машинных такта.
21. Расчет мощности входного сигнала  $P_y$ , мощности предсказанного эхо сигнала  $P_d$  и шумового сигнала  $P_n$ . Время выполнения – 3938 машинных тактов.
22. Принятие решения о периоде тишины. Если мощность входного сигнала меньше величины  $\alpha P_n$ , то принимается решение об отсутствии речевых сигналов обоих дикторов, и последующие этапы не выполняются. Выбор  $\alpha > 1$  обуславливается предполагаемым отношением уровней сигнала и шума. Время выполнения – 8 машинных тактов.
23. Принятие решения о периоде двойного разговора. Если мощность входного сигнала превышает величину  $\gamma(P_n + P_d)$ , то принимается решение об одновременном разговоре обоих дикторов, и последующие этапы не выполняются. Выбор  $\gamma > 1$  обуславливается предполагаемым отношением уровней сигнала и шума. Время выполнения – 8 машинных тактов.
24. Вычисление ДПФ блока данных  $e_{M,n} = [0 \quad e_{Q,n}]$ :  $E_M = Y_M - D_M$ . Время выполнения – 526 машинных тактов.
25. Корректировка обратного автокорреляционного вектора  $P^1_M$  входного сигнала  $x$  [5]. Время выполнения – 2646 машинных тактов.
26. Корректировка  $N/Q$  секций импульсной характеристики:

26.1. Вычисление ОДПФ от  $Z_M = \mu X_M^* P_M^{-1}$ . Время выполнения – 7393 такта.

26.2. Корректировка импульсной характеристики во временной области:  $h_{Q,i} = h_{Q,i} + z_Q$ . Время выполнения – 134 машинных такта.

26.3. Перевод секции в частотную область. Для этого секция  $h_{Q,i}$  дополняется нулями до размера  $M$  и находится ее ДПФ. Время выполнения – 7266 машинных тактов.

Таким образом суммарное время выполнения программы составляет  $79094 + N/Q * 16847$  машинных тактов. Система реализована на процессоре TMS320C541, который имеет время выполнения машинного такта равное 25 нс. В таблице 1 приведены предельные времена обработки блока входных данных длиной 128 отсчетов.

Таблица 1. Предельные времена обработки блока входных данных равным 128 отсчетам

Частота дискретизации, Гц	Предельные время обработки 128 отсчетов, с	Предельное количество машинных тактов	Максимальное количество секций
8000	0,016	640000	33
16000	0,008	320000	14
22050	0,0058	232000	9

Как видно из таблицы, при частоте дискретизации 8 кГц, в подсистеме эхо подавления может использоваться фильтр, имеющий до 33 секций, что соответствует порядку фильтра равному 4224. При данном порядке фильтра возможно подавление эхо сигнала длительностью до 0.5 с. Для подавления эха длительностью более 0.5 с необходимо использовать многопроцессорный вариант данной системы [9]. Особенностью описанного выше алгоритма является то, что осуществляется равномерная загрузка всех процессоров и избегается простой некоторых из них на отдельных этапах работы.

Таким образом, система является достаточно сложной, что соответственно увеличивает требования к размеру памяти программ. Однако, применение в системе вместо наиболее распространенного на сегодняшний день нормализованного алгоритма метода наименьших квадратов секционированного блочного алгоритма с обработкой сигнала в частотной области, позволяет на порядок снизить вычислительную сложность системы.

**Емкостная сложность системы**

Реализация системы на основе данного алгоритмического обеспечения обуславливает большие требования к объему памяти данных:

1. 512 слов для хранения входных сигналов  $x$  и  $y$ .
2. 512 слов для хранения поворачивающих множителей ДПФ.
3.  $512 * N / Q$  слов для хранения  $N/Q$  ДПФ входного сигнала  $X_{M,n-i}$ .
4.  $512 * N / Q$  слов для хранения  $N/Q$  ДПФ секций импульсной характеристики.
5.  $N$  слов для хранения импульсной характеристики фильтра во временной области.
6.  $5 * 256$  слов для хранения 5 СПИМ шума.
7. 512 слов для хранения обратного автокорреляционного вектора  $P_M^{-1}$ .
8. 256 слов для хранения значений абсолютного порога слышимости.

Кроме постоянных областей памяти требуются также дополнительные области, которые используются только на определенных этапах и могут быть задействованы для других целей в остальные отрезки времени. Суммарный объем дополнительных областей памяти составляет 4096 слов.

Следовательно, необходимо использовать внешнюю память данных, так как объема памяти данных на кристалле процессора TMS320C541 недостаточно. Вместе с тем объем встроенной памяти программ равный 28К является достаточным для размещения программ. Память данных в 64 килослова позволяет реализовать систему с порядком секционированного блочного фильтра в частотной области не более 3500, что позволяет организовать подавление эхо сигнала длительностью около 0.44 с.

Таким образом, на предлагаемой системе на базе одного процессора TMS320C541 возможна организация эффективного подавления шумов окружающей среды и эхо сигнала большой длительности, что, в свою очередь, позволяет использовать данную систему не только в средствах мобильной связи, но также и при организации телеконференций, где часто используются большие аудитории не всегда имеющие идеальные акустические характеристики.

Литература

1. A.Petrovsky, K.Bielawski, A.Anoshenko, Hands-free radiotelephony communication devices with combine front end processing systems: global approaches in the time and frequency domain. // Journal of the University of Applied Sciences Mittweida Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida (FH). Proc. IWKM'98, Band C, Nr.3, 1998, pp.135-142.
2. S. Haykin, "Adaptive filter theory". – Third edition, Prentice-Hall, 1996.
3. R.Martin, Spectral subtraction based on minimum statistics. // Proc. EUSIPCO-94, Edinburgh, 12-16 September 1994, pp. 1182-1185.
4. Петровский А.А., Аношенко А.Е. Комбинированная система подавления эха и шумового сигналов на основе обработки в частотной области с использованием психоакустического подхода. // 2-я Международная конференция "Цифровая обработка сигналов и ее применение", Москва, 21-24 сентября, том. 1, с. 166-169.
5. Egelmeers G.P.M., Decoupling of partition factors in Partitioned Block FDAF. // ECCTD, Davos, Switzerland, August 1993, pp 323-329.
6. S.Gustafsson, R.Martin, P.Vary, Combined acoustic echo control and noise reduction for hands-free telephony. // Signal Processing, N.64, 1998, pp. 21-32.
7. N. Virag, Single channel speech enhancement based on masking properties of human auditory system. // IEEE Transactions on Speech and audio processing, Vol. 7, no. 2, March 1999, pp. 126-137.
8. E.Zwicker, H.Fastl, Psychoacoustics: Facts and Models. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1990.
9. Al. A. Petrovsky, A. E. Anoshenko. Implementation of decoupled partitioned block frequency domain adaptive filter based on the pipeline multi-DSP systems. // Веснік сувязі, № 1, Мінск 1999. – pp. 39-42.



**SYSTEM OF AN ACOUSTIC ECHO AND NOISE CANCELLATION USING ALGORITHMS WITH PSYCHOACOUSTIC MOTIVATION, ON THE BASIS OF ONE PROCESSOR TMS320C541**

Petrovsky A.A. Anoshenko A.E.

The Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
6, P.Brovky St., Minsk 220027 Belarus  
Tel: + 375 172 312910; Fax: + 375 172 310914; E-mail: palex it.org.by

**Abstract.** In the given paper the realization of a combined system of an echo and noise signals cancellation on the basis of the partitioned block frequency domain adaptive filter and of the psychoacoustic algorithm of noise reduction is presented. The system is built on the single TMS320C541 processor. The work considers algorithm of functioning of the system and time costs associated with implementation of its various stages. The paper evaluates computational complexity of the whole system and analyses capacity complexity the employed algorithms.

**1. Introduction**

The development of mobile communications lead to increasing use of handsfree systems. The application of these systems requires finding the solution to the two main problems. The first problem is the acoustic echo coming from loudspeakers and the second one is a noise of the environment.

For echo and noise cancellation the combined systems realizing joint cancellation of these components are widely applied. The most popular combined system of noise and echo cancellation is built according to the scheme presented on Figure 1. The analysis of other variants of making the combined systems is conducted in [1].

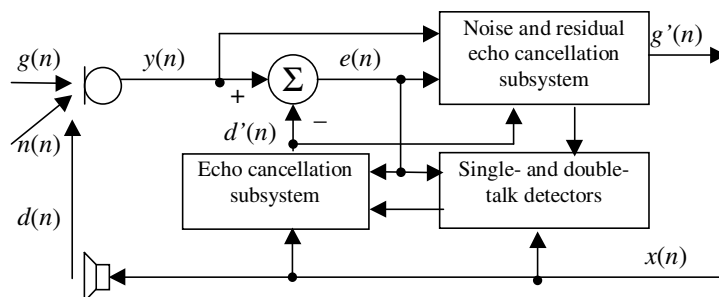


Figure 1. The combined one microphone system of an echo cancellation and noise reduction.

The most spread algorithm for constructing the echo cancellation subsystems is normalized algorithm of least mean squares (NLMS) [2]. The noise reduction subsystems are frequently implemented on algorithms basing on the method of spectral subtraction. However, the NLMS algorithm has high computational complexity that hinders its use for canceling the echoes with rather big length. At the same time, method of spectral subtraction introduces into a signal the specific distortion called the «musical» tone [3]. The system suggested in [4] is able to avoid these two

drawbacks. As an echo canceling subsystem it employs a partitioned block frequency domain adaptive filter (PBFDAF) [5], that creates 10-time reduction in computational complexity of the system. Noise reduction subsystem uses the algorithm of spectral subtraction with psychoacoustic motivation [6,7], which allows increasing the quality of noise and residual echo cancellation and eliminates the effect of «musical» tone.

In this paper the realization of a system offered in work [4], on the basis of the DSP processor TMS320C541 is considered. The block scheme of the algorithm, description of main subsystems' work and the results of work simulation are presented in [4].

The presented system processes signal by blocks of  $Q = 128$  samples. To this end, the impulse characteristics of an adaptive filter of length  $N$  is divided on  $N/Q$  sections and the signal processing is carried out by sections. Substantial decreasing of computing complexity is achieved by processing the signals in frequency domain employing DFT of length  $M = 256$ .

The total execution time of the program is  $79094 + N/Q * 16847$  machine steps. The system is realized on the processor TMS320C541 executing each machine step in 25 ns. For echo canceling at sampling rate of 8 kHz the system allows using a filter with up to 33 sections, i.e. order 4224 filter. Given order of a filter allows making a cancellation of echo signal with lengths up to 0.5 s.

For organization of echo cancellation with lengths more than 0.5 s it is necessary to use multiprocessor variant of the presented system. One of the features of the given algorithm is that it allows uniform loading of all processors and thus avoids making idle cycles on some of them.

The presented system is rather complex. It increases requests to memory size of the programs. However, application of the partitioned block algorithm with signal processing in frequency domain - instead of the NLMS one - allows substantial reducing of the computational complexity.

The system shows large requests to size of data memory used. The following constants are required to be stored in the memory allocated for the system:

1. 512 words for storing the source signals  $x$  and  $y$ .
2. 512 words for storing DFT twiddle factors.
3.  $512 * N / Q$  words for storing  $N/Q$  DFT of a source signal  $\mathbf{X}_{M,n-i}$ .
4.  $512 * N / Q$  of words for storing  $N/Q$  DFT sections of impulse characteristics.
5.  $N$  words for storing the impulse characteristics of the filter in the time domain.
6.  $5 * 256$  words for storing 5 SPD of noise.
7. 512 words for storing the inverted autocorrelation vector  $\mathbf{P}_M^{-1}$ .
8. 256 words for storing the values of an absolute threshold of audibility.

Except for constant memory areas the additional space is required for use at the specific stages and can be used for other purposes in course of other operations. Total size of additional memory area amounts to 4096 words.

Thus, designing the device requires using the peripheral data memory, because the data memory size internally allocated in the processor TMS320C541 is 5K only. At the same time, 28K of program memory will suffice.

Data memory of 64K allows implementing the system with order of the partitioned block filter with processing of a signal in frequency domain limited by 3500. It enables echo cancellation for echoed signals with echo length of 0.44s.

Thus, the offered system built on the single TMS320C541 processor allows organizing the effective environment noise cancellation and large length echo suppressing in echoed signals. These features enable applications of the given system not only in means of mobile communication, but also during teleconferences, where the large halls, that do not always have ideal acoustics characteristics, are frequently used.

#### Reference

1. A.Petrovsky, K.Bielawski, A.Anoshenko, Hands-free radiotelephony communication devices with combine front end processing systems: global approaches in the time and frequency domain. // Journal of the University of Applied Sciences Mittweida Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida (FH). Proc. IWKM'98, Band C, Nr.3, 1998, pp.135-142.
2. S. Haykin, "Adaptive filter theory", Third edition, Prentice-Hall, 1996.
3. R.Martin, Spectral subtraction based on minimum statistics. // Proc. EUSIPCO-94, Edinburgh, 12-16 September 1994, pp. 1182-1185.
4. Petrovsky A.A., Anoshenko A.E. Combined echo and noise cancellation system based on the frequency domain processing with using the psychoacoustically approach. // The 2nd International Conference "Digital signal processing and its applications", Moscow, September 21-24, Vol. 1, pp. 166-169.
5. Egelmeers G.P.M., Decoupling of partition factors in Partitioned Block FDAF. // ECCTD, Davos, Switzerland, August 1993, pp 323-329.
6. S.Gustafsson, R.Martin, P.Vary, Combined acoustic echo control and noise reduction for hands-free telephony. // Signal Processing, N.64, 1998, pp. 21-32.
7. N. Virag, Single channel speech enhancement based on masking properties of human auditory system. // IEEE Transactions on Speech and audio processing, Vol. 7, no. 2, March 1999, pp. 126-137.