

СИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗАШУМЛЁННЫХ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

SYSTEMS FOR DIGITAL PROCESSING OF A NOISED SPEECH SIGNAL AT REAL TIME SCALE

Yu. Krylov

Summary. There is examine of a system for digital processing noised speech signal. Digital processing produces in frequency domain at real time scale. The system is based on using two-channel compensator of a noise. Useful signal observes at a background of a statistic independent interferences. There is examine of a structure scheme and a special compensation of a pipeline –parallel processor. There is definition of a number of iterations for recognition speech signal well at wide range relation of signal/noise.

Keywords: Speech signals, adaptive filter, compensator of a noise, fast Fourier-transportation, pipeline-parallel processor, relation of signal/noise.

Крылов Юрий Дмитриевич
К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский
Государственный университет
Аэрокосмического приборостроения
yu.d.krylov1@gmail.com

Аннотация. Рассматривается система цифровой обработки зашумленных речевых сигналов. Обработка производится в частотной области в реальном масштабе времени. Система базируется на использовании двухканального адаптивного компенсатора помех. Полезный сигнал наблюдается на фоне аддитивных статистически независимых помех. Рассмотрены структурные схема и состав специализированного поточно- параллельного процессора. Определяется необходимое число итераций вычислительного процесса, необходимых для хорошего распознавания речи в широком диапазоне отношений сигнал/шум.

Ключевые слова. Речевые сигналы, адаптивная фильтрация, компенсатор помех, быстрое преобразование Фурье, отношение сигнал/шум.

В настоящее время в ряде областей техники продолжает оставаться актуальной задача цифровой обработки сигналов [1,2,3]. Среди этих задач особое место занимает задача выделения речевого сигнала на фоне аддитивных помех. При этом могут использоваться методы, основанные на адаптивной фильтрации [4] и на моделях линейного предсказания [5]. Часто необходимо, чтобы выделение полезного речевого сигнала происходило в реальном масштабе времени. Для этой цели с успехом применяется адаптивная фильтрация. Она может осуществляться во временной и частотной областях с помощью адаптивного компенсатора помех, в состав которого входит адаптивный фильтр с настраиваемыми весовыми коэффициентами, которые вычисляются с помощью алгоритма Уидроу таким образом, чтобы достигался минимум среднеквадратической ошибки (СКО). Фильтрация в частотной области позволяет в значительной степени сократить количество вычислений по сравнению с фильтрацией во временной области [1]. Схема организации вычислительного процесса при осуществлении адаптивной фильтрации в частотной области с помощью адаптивного компенсатора помех приведена на рис. 1.

Адаптивный компенсатор помех имеет два входа (канала): основной и опорный. На основной вход системы подается смесь полезного сигнала S и помехи n_1 , а на другой — коррелированная с n_1 помеха n_2 . При этом предполагается, что полезный сигнал S не коррелирован

с помехами n_1 и n_2 . Компенсация помех осуществляется следующим образом. Входные сигналы запоминаются в буферной памяти (на рис. 1 не показана) для образования N -отсчётных блоков данных, которые затем преобразуются посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ) [1] для образования комплексных значений $D(l)$ спектра желаемого отклика и $X(l)$ -входных сигналов адаптивного фильтра ($l=1, \dots, N$).

Каждый комплексный весовой коэффициент $W(l)$, соответствующий l -й компоненте спектра, формируется независимо и только один раз для каждого блока данных. В процессе адаптации этот коэффициент в соответствии с адаптивным алгоритмом Уидроу в частотной области изменяется следующим образом:

$$W(k+1) = W(k) + 2\mu\varepsilon(k)X^*(k), \quad (1)$$

где $W(k)$ — комплексный весовой коэффициент на k -м шаге адаптации; μ — коэффициент адаптации; $\varepsilon(l)$ — ошибка; $X^*(k)$ — комплексно — сопряжённая величина от входного сигнала $X(k)$ адаптивного фильтра.

При этом для каждой компоненты ошибка будет

$$\varepsilon(k) = D(k) - Y(k) = D(k) - W(k)X(k), \quad (2)$$

где $D(k)$ — спектральная составляющая смеси полезного сигнала и помехи, поступающей на основной вход

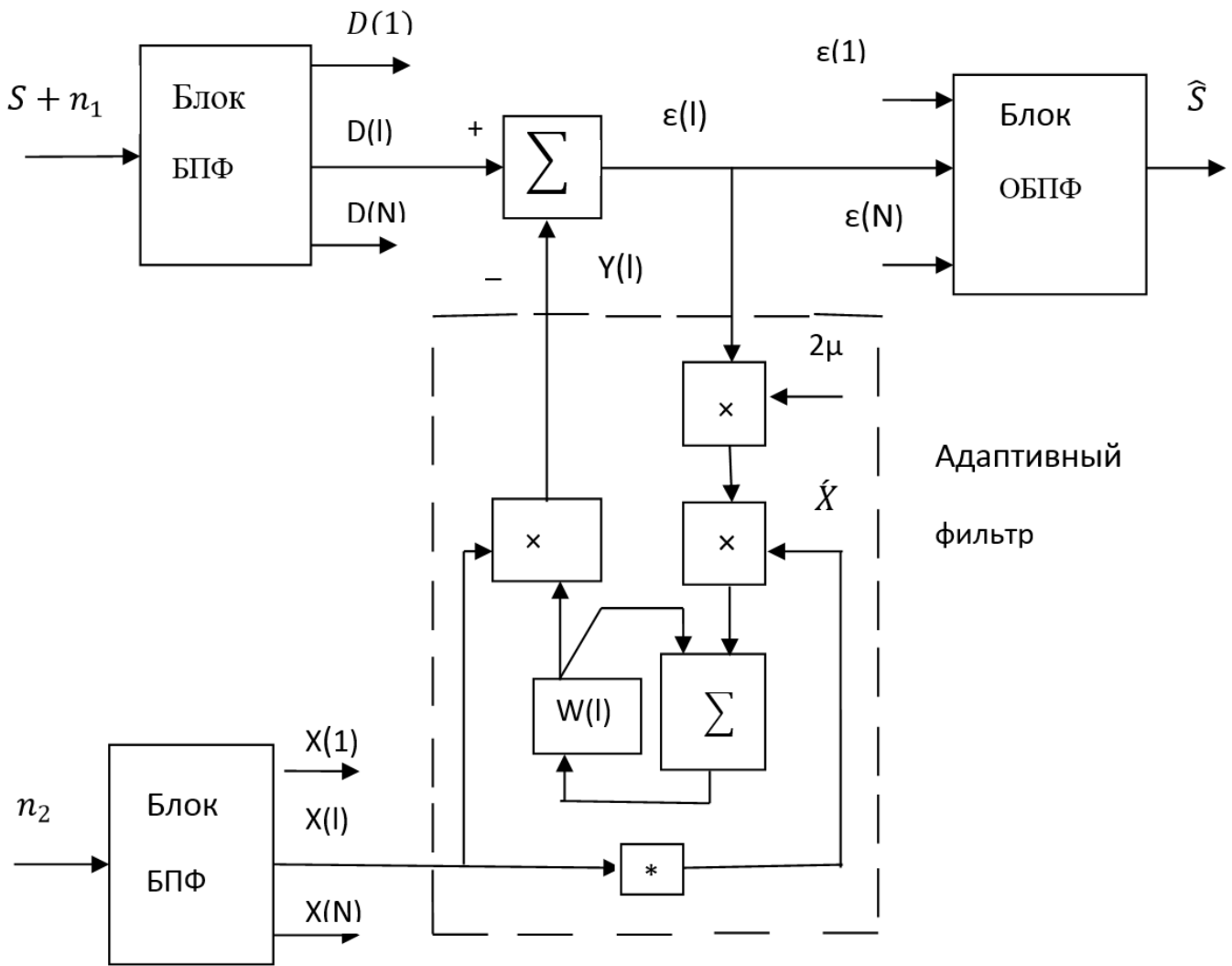


Рис. 1. Адаптивный компенсатор помех

компенсатора; $Y(k)$ — выходной сигнал адаптивного фильтра; $X(k)$ — спектральная составляющая помехи, поступающей на опорный вход компенсатора.

Взвешенные выходные сигналы подаются в блок вычисления обратного БПФ (ОБПФ) для формирования блока выходных данных, представляющих собой отсчеты очищенного полезного сигнала.

В работе [4] исследованы модели взаимодействия полезного сигнала и помех. В первой модели полезный сигнал не проникает на опорный вход компенсатора помех. В этом случае математическое ожидание величины весового коэффициента на

($k+1$)-м шаге адаптации будет

$$E[W(k+1)] = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} [1 - (1 - \mu\sigma_n^2)^{k+1}], \quad (3)$$

где $\sigma_l^2 = E[D(m)X^*(m)]$; σ_n^2 — дисперсия помехи на опорном входе компенсатора; m — номер блока отсчетов временной последовательности сигналов. Для второй модели, когда полезный сигнал частично проникает на опорный вход компенсатора помех, аналогично

$$E[W(k+1)] = \frac{\alpha\sigma_s^2 + \sigma_n^2}{\alpha^2\sigma_s^2 + \sigma_n^2} [1 - (1 - \mu(\alpha^2\sigma_s^2 + \sigma_n^2))^{k+1}], \quad (4)$$

где α — коэффициент корреляции; σ_s^2 дисперсия полезного сигнала.

Адаптивная фильтрация полезного речевого сигнала в реальном

масштабе времени может быть выполнена при применении поточно-параллельной схемы вычисле-

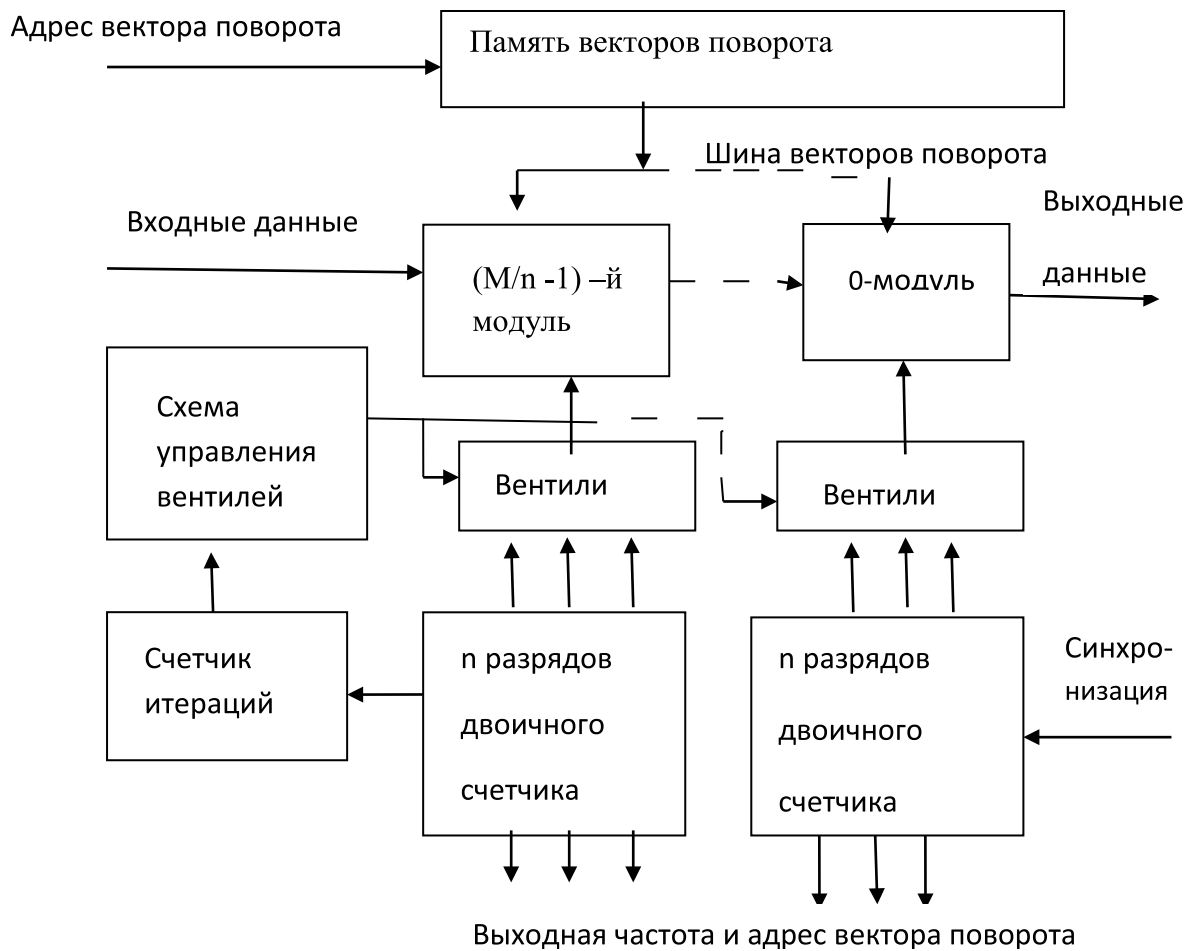


Рис. 2. Структурная схема поточного процессора БПФ

ний. При этом перевод временных последовательностей отсчётов входных сигналов производится с помощью поточных процессоров БПФ, а вычисления по формулам

(1) и (2) проводятся для всех компонент спектра в темпе, определяемом динамикой поступления выходных данных из поточных процессоров БПФ. Аналогично осуществляется с помощью поточного процессора обратное БПФ для получения временной последовательности отсчётов очищенного от помех полезного сигнала.

При работе в реальном масштабе времени при дискретизации входных сигналов с частотой f Гц один этап вычислительного процесса БПФ должен выполняться за время

$$T \leq \frac{N}{qf},$$

где N — длина временной последовательности отсчётов; q — степень перекрытия.

За это время требуется провести необходимое число итераций вычислительного процесса по формулам (1) и (2).

Эксперименты показали, что хорошее качество фильтрации достигается при $f = 15$ кГц, $N = 512$ и $q = 2$ [6]. При применении микропроцессорных комплектов повышенного быстродействия, имеющих в своём составе устройства умножения, аппаратно реализующих операцию умножения, один модуль поточного процессора БПФ может выполнять n этапов вычислительного процесса БПФ. При этом n может быть выбрано из соотношения

$$n \frac{N}{2} t_{б.о.} \leq T,$$

где $N/2$ — число базовых операций БПФ на одном этапе вычислений БПФ; $t_{б.о.}$ — время выполнения базовой операции.

Общее число этапов вычислительного процесса

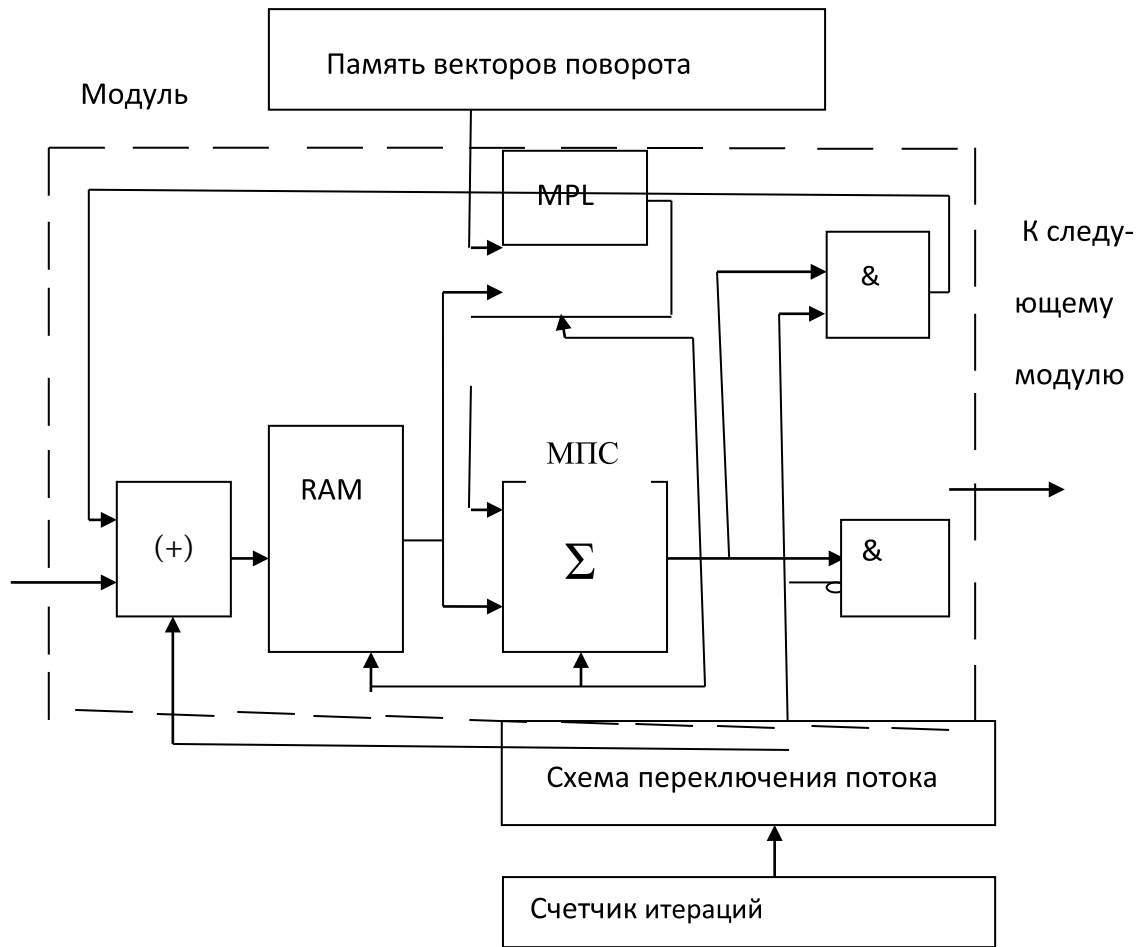


Рис. 3. Структурная схема модуля поточного процессора БПФ

$$M = \log_2 N$$

На рис. 2 приведена структурная схема поточного процессора БПФ.

Он имеет M/n модулей, каждый из которых последовательно выполняет $N/2$ этапов вычислительного процесса при вычислении базовых операций БПФ на каждом этапе. Поворачивающие множители хранятся в памяти векторов поворота и поступают в модули по специальной шине в режиме разделения времени. Модули имеют в своём составе устройства обработки (процессорные блоки), устройства временного хранения данных (ОЗУ), и переключатели для распределения потоков данных после выполнения этапов БПФ (на рис. 2 не показаны). Для управления подачи входных данных и поворачивающих множителей в устройства обработки модулей в состав поточного процессора введен двоичный счётчик с числом разрядов M . Подключение соответствующих разрядов двоичного счетчика для управления осуществляется специальным счётчи-

ком числа итераций, проводимых в модуле, через схему управления и вентили.

На рис. 3 приведена структурная схема модуля поточного процессора БПФ, содержащего процессорный блок, включающий микропроцессорную секцию МПС (сумматор), умножитель MPL, блок ОЗУ (RAM) и схемы переключения.

Расчеты показали, что при использовании сумматора со схемой ускоренного переноса и двух БИС последовательного умножителя (УМП 8×8), быстродействие модуля таково, что при $f = 15$ кГц, $N = 512$ и $g = 2$ он обеспечивает выполнение 3-х этапов БПФ по 256 базовых операций. Процессорный блок выбирает входные данные из ОЗУ предыдущего модуля, проводит три этапа БПФ, используя блок ОЗУ модуля, и выдает результаты в ОЗУ следующего модуля. Три модуля обеспечивают выполнение девяти операций ($N=512$) в реальном масштабе времени. Для проведения 30 операций вычислительного процесса адаптивной фильтрации по формулам (1) и (2) для

всех компонент спектра в реальном масштабе времени требуется 16 обрабатывающих модулей, работающих параллельно, каждый из которых имеет два процессорных блока, каждый такой блок имеет один сумматор и один умножитель.

Проведённые исследования подтвердили справедливость формул (3) и (4) и показали, что компенсация помех достигается в широком диапазоне от-

ношения сигнал/шум (С/Ш). Эксперименты показали [6], что при применен сглаживающих окон Хэмминга и коэффициенте корреляции α равном 0,1 хорошая разборчивость речи достигается при отношении С/Ш, равном 10 дБ за 12 итераций при изменении СКО на 30 дБ; при отношении С/Ш равном 0 дБ за 22 итерации при изменении СКО на 20 дБ и при отношении С/Ш равном -10 дБ за 27 итераций при изменении СКО на 24 дБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Рабинер, Б. Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов. Пер с англ. /под ред. Ю. Н. Александрова. — М.: Мир, 1978.—848 с.
2. Марпл.-мл. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 584 с.
3. Адаптивные фильтры: Пер. с англ./Под ред. К. Ф. Коуэна и П. М. Гранта. — М.: Мир, 1988. — 392 с.
4. Уидроу Б., Маккул Д ж., Болл М. Комплексная форма алгоритма НСКО//ТИИЭР.1973. Т. 63 № 3.
5. Маркер Дж. Д., Грей А. Х. Линейное предсказание речи: Пер с англ./Под ред. Ю. Н. Прохорова и В. С. Звездина. — М.: Связь, 1980. — 308 с.
6. Крылов Ю. Д. Поточно-параллельные вычислительные системы для цифровой обработки речевых сигналов. Москва. Материалы 15-й Международной Научно-практической конференции «Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества» Москва: Изд-во 'Интеллект стратегических исследований': Изд-во 'Перо',2015. с. 55–60.

© Крылов Юрий Дмитриевич (yu.d.krylov1@gmail.com).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

