

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова  
150000, Россия, Ярославль, Советская, 14.  
Тел.: (0852) 797775, e-mail: dcslab@uniyar.ac.ru

**Реферат:** Рассматривается влияние эффекта «двойного разговора» на перестройку коэффициентов адаптивного цифрового эхо-компенсатора. Предложен модифицированный алгоритм, основанный на нормализованном МНК, позволяющий повысить робастность эхо-компенсатора.

Традиционно эхо-компенсаторы строятся с применением адаптивных КИХ-фильтров. Длина импульсной характеристики этого фильтра является одним из важных параметров эхо-компенсатора. Она определяет максимально возможную величину задержки сигнала в эхо-тракте, при которой возможна работа эхо-компенсатора [1,2]. Следовательно, для построения эхо-компенсатора желательно иметь достаточно длинную импульсную характеристику, чтобы обеспечить его работу в большом диапазоне значений задержки эхо-сигнала. В настоящее время идет создание эхо-компенсаторов для эхо-трактов с длиной импульсной характеристики более 64 мс, что требует использования КИХ-фильтров с большим количеством отводов. Так при задержке эхо-сигнала в 64 мс и использовании стандартной в телефонии частоты дискретизации 8 кГц потребуется КИХ-фильтр с 512 перестраиваемыми коэффициентами.

Большая длина фильтра уменьшает скорость сходимости адаптивного алгоритма. Одним из простых решений этой проблемы может быть увеличение шага в алгоритме адаптации. Однако, такое увеличение не будет приемлемым решением, т.к. в этом случае увеличится величина асимптотической ошибки, а также увеличится чувствительность алгоритма к возможным искажениям, вносимым в эхо-тракт. Одним из источников таких искажений могут быть ошибки в работе детектора двойного разговора (ДДР). Неправильное обнаружение сигнала от ближнего абонента может привести к значительным отклонениям коэффициентов адаптивного фильтра эхо-компенсатора от требуемых значений. В связи с этим, возникает задача разработки алгоритма, который, обладая приемлемой скоростью сходимости, в тоже время был бы устойчив к наличию возможных искажений присутствующих в эхо-сигнале.

Основные функциональные узлы эхо-компенсатора представлены на блочной диаграмме на рис.1, где  $x(n)$  - сигнал от дальнего абонента,  $d(n)$  – эхо-сигнал,  $v(n)$  – сигнал от ближнего абонента,  $y(n) = d(n) + v(n)$  – сумма эхо-сигнала и сигнала от ближнего абонента,  $\hat{d}(n)$  - оценка эхо-сигнала, полученная в результате работы эхо-компенсатора,  $e(n)$  – ошибка оценки эхо-сигнала.

В эксплуатирующихся в настоящее время эхо-компенсаторах для подстройки коэффициентов адаптивного фильтра наиболее часто применяется нормализованный метод наименьших квадратов (НМНК) [2], алгоритм которого в векторной форме может быть записан в следующем виде:

$$\mathbf{h}(n) = \mathbf{h}(n-1) + \mu(n)\mathbf{x}(n)e(n), \quad (1)$$

$$\mu(n) = \frac{2\mu}{\delta + \mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n)},$$

где  $\mu$  - определяет шаг адаптации,  $\delta > 0$  - константа, введенная для предотвращения деления на ноль.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Министерства образования России

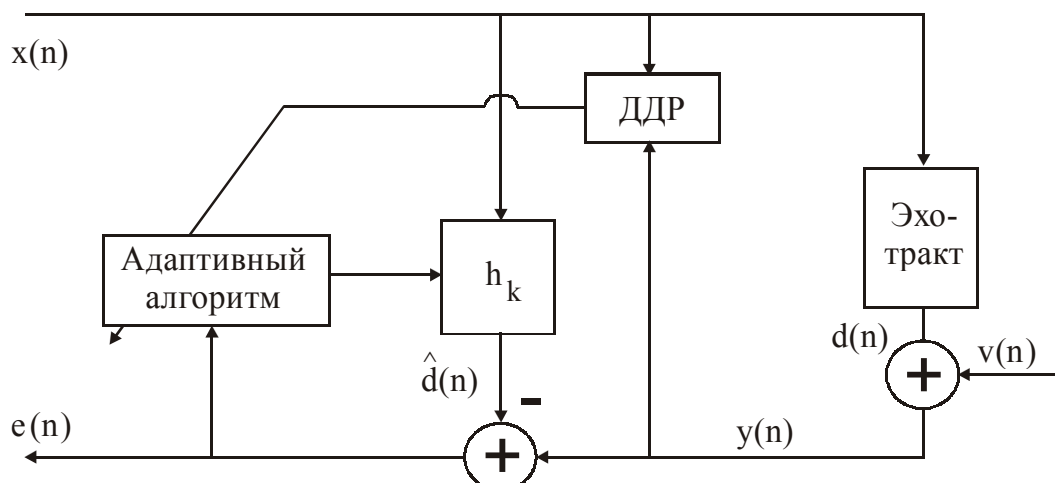


Рис. 1. Блочная диаграмма эхо-компенсатора

Алгоритм (1) не имеет каких-либо способов для учета искажений, вносимых в эхо-тракт, и в своей работе основывается на показаниях ДДР. Работа ДДР может быть описана с помощью алгоритма Гейгеля. В этом алгоритме ситуация двойного разговора определяется если

$$|y(n)| \geq \vartheta \cdot \max \{ |x(n)|, |x(n-1)|, \dots, |x(n-L+1)| \}. \quad (2)$$

Параметр  $\vartheta$  устанавливается равным 0.5, если ослабление в дифференциальной системе полагается равным 6дБ, и 0.71, если ослабление предполагается равным 3дБ. Кроме этого, определяется защитный интервал  $T_{hang\_over}$ , определяющий период времени, в течении которого будет запрещена перестройка коэффициентов адаптивного фильтра, после детектирования двойного разговора согласно неравенству (2). Из (2) видно, что если сигнал от ближнего абонента по величине не превосходит определенного уровня по сравнению с сигналом от дальнего абонента, то ДДР не сигнализирует о наличии двойного разговора, и перестройка коэффициентов адаптивного фильтра будет производиться неправильно. Для предотвращения такой ситуации необходимо модифицировать существующий алгоритм.

Адаптивные алгоритмы, применяемые в задачах эхо компенсации, как и большинство общепринятых статистических методов введены в предположении, что удовлетворяется ряд предположений, например, такие как независимость наблюдений, случайные величины имеют одинаковые средние и постоянные дисперсии, все наблюдения нормально распределены [3]. Если эти предположения выполняются, то для оценки среднего используют среднеарифметическое. Эта оценка обладает свойствами несмещенности, состоятельности, достаточности. Даже при средних размерах объемов выборок для распределений нормального, пуассоновского и гамма распределений можно использовать асимптотически нормальные приближения. Однако, даже несколько резко выделяющихся значений, далеко отстоящих от основной массы наблюдений, могут изменить среднее значение и оценку дисперсии очень сильно.

Резко выделяющиеся наблюдения нарушают основное предположение метода наименьших квадратов – независимость дисперсии остатка от его математического ожидания. Действительно, резко выделяющееся наблюдение приводит к несимметричности распределений остатка, следовательно, условие независимости дисперсии и математического ожидания сразу нарушается. Обработка таких данных обычными методами может привести к значительным ошибкам.

Для обеспечения надежности и эффективности оценок параметров эхо-тракта нужно тем или иным способом нейтрализовать резко выделяющиеся наблюдения. Возможны следующие действия над этими наблюдениями: оставить без изменений, ограничить влияние, жестко удалить, плавно удалить. Любые действия ограничивающие влияние резко выделяющихся наблюдений предотвращают наихудший исход. Алгоритму, построенному на МНК, должен предшествовать тщательный анализ на содержание аномальных наблюдений. Для вычисления параметров модели эхо-тракта без анализа резко выделяющихся данных, нужно пользоваться робастными методами, нечувствительными к нарушению основных предположений регрессионного анализа.

Для робастификации алгоритма, вместо минимизации суммы квадратов, будем минимизировать сумму менее быстро растущих функций – функций остатков:

$$\sum_{i=0}^{N-1} \rho(y_i - \sum_j x_{ij} h_j) = \min, \quad (3)$$

где  $\rho$  - некоторая выпуклая функция. Значение, обращающие (3) в минимум для некоторой функции, называют М-оценкой. Эту оценку можно рассматривать как оценку максимума правдоподобия [3]. Далее, обозначив оценку масштаба как  $\hat{\sigma}$  можно определить следующую последовательность шагов робастного алгоритма.

Пусть  $\hat{\mathbf{h}}$  и  $\hat{\sigma}$  начальные оценки для  $\mathbf{h}$  и  $\sigma$ . Начальное значение оценки вектора коэффициентов  $\hat{\mathbf{h}}$  получим с помощью метода наименьших квадратов. Затем вычисляем оценку вектора отклика и находим остатки:

$$r_i = y_i - f_i(\hat{\mathbf{h}}), \quad i = 1, \dots, n.$$

Оцениваем масштаб  $\hat{\sigma}$  полученных остатков по медиане абсолютных отклонений от медианы

$$\hat{\sigma} = 1.483 \operatorname{med}_i \{ |r_i - \operatorname{med}_i(r_i)| \}.$$

Заменяем остатки их винзоризированными вариантами, и решаем задачу минимизации для  $\tau$

$$\sum_{i=0}^{N-1} (r_i^* - \sum_k x_{ik} \tau_k)^2 = \min!$$

Перестраиваем коэффициенты по формуле

$$\mathbf{h}(n+1) = \mathbf{h}(n) + \mu(n)\tau.$$

где шаг подстройки  $\mu(n)$  выбирается также как и в (1).

Сравнение нормализованного МНК и построенного на его основе робастного алгоритма показывает, что скорость сходимости робастного алгоритма немного меньше скорости базового, но введение масштабируемой нелинейности при комбинации с ДДР Гейгеля повышает робастность всего эхо-компенсатора в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
2. Адаптивные фильтры / под. ред. К. Ф. Н. Коузэна и П. М. Гранта. М.: Мир, 1988. 388 с.
3. Хьюбер П. Робастность в статистике: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 304 с.



## ROBUST ADAPTIVE ALGORITHM FOR ECHO CANCELLATION\*

Tarakanov A., Moseev A.

Yaroslavl State University  
150000, Russia, Yaroslavl, Sovetskaya st., 14  
Phone: (0852) 797775. E-mail: dcslab@uniyar.ac.ru

**Abstract:** Performance of an echo canceler during “double-talk” is considered. Modified algorithm handled DTD mismatches during “double-talk” is proposed.

The length of impulse response is one of the most important parameters of echo canceler. It determines maximum delay of signal in echo path. However, longer impulse responses slow down the convergence rate, thus rendering traditional algorithms like normalized least mean squares (NLMS) inadequate. Vector form of NLMS is shown below

$$\mathbf{h}(n) = \mathbf{h}(n-1) + \mu(n)\mathbf{x}(n)e(n),$$

$$\mu(n) = \frac{2\mu}{\delta + \mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n)}.$$

Beside convergence rate and complexity issues, an important aspect of an echo canceler is its performance during “double-talk” (i.e., near-speech). A high convergence rate is usually accompanied by high divergence rate in the presence of double-talk. To inhibit the divergence of the EC during double-talk, the standard procedure is to use a level based double-talk-detector (DTD). According to Geigel DTD algorithm, double-talk is declared if

$$|y(n)| \geq \vartheta \cdot \max\{|x(n)|, |x(n-1)|, \dots, |x(n-L+1)|\}.$$

Whenever double-talk is detected the step-size of adaptive filtering algorithm is set to zero thus inhibiting the adaptation. Unfortunately, during the time required by the DTD to detect double-talk, the echo canceler often diverges. This is because a few undetected large amplitude samples perturb the echo path estimate considerably. Once this happens, the coefficients are frozen in a poor state for at least the hangover time, before adaptation can be resumed. To prevent a such situation it is need to use robust algorithm.

Recall that the LMS is an iterative algorithm to adjust the estimated impulse response so as to minimize the cost function,  $E[|e_n|^2]$ , i.e., the mean square error. It is well known, that other gradient algorithms can be derived by changing cost function

$$\sum_{i=0}^{N-1} \rho(y_i - \sum_j x_{ij}h_j) = \min.$$

The algorithm can be made robust by a proper choice of  $\rho(\cdot)$ . Beside this, algorithm includes the magnitude of the residual  $r_i$  and an estimate of a scale  $\hat{\sigma}$ . Estimate of a scale is processing according to

$$\hat{\sigma} = 1.483 \text{med}_i \{|r_i - \text{med}_i(r_i)|\}$$

The resulted algorithm, analogous to the steepest-descent method is

$$\mathbf{h}(n+1) = \mathbf{h}(n) + \mu(n)\tau$$

Simulations show that robust version of algorithm converges slower than its nonrobust version. This means that robust NLMS is slower than standard NLMS, but scaled nonlinearity combined with a Geigel DTD increases the robustness of the echo canceler.

---

\* Work is supported by Russian Foundation of Fundamental Research and Ministry of Education of Russian Federation