

З.А.ЛОШАКОВ, д-р техн. наук, проф., В.В.СИДОРОВ, канд. техн. наук, С.М.БОБРИЦКИЙ

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ИСКАЖЕНИЙ РЕЧЕВОГО ПОТОКА В КАНАЛАХ СВЯЗИ

Введение

Качество связи, обеспечиваемое современными цифровыми системами, в значительной степени определяется параметрами трактов распространения сигналов. При этом особое место занимает анализ в средах GSM, VoIP, ISDN PRI и т.п. Поэтому вопросам прецизионного измерения искажений речевого потока в низкочастотных и высокочастотных трактах распространения уделяется большое внимание. Для этих целей используется сложная измерительная аппаратура. Однако на практике использование такой аппаратуры не всегда оправдано из-за избыточности функций, сложности эксплуатации и высокой стоимости. Поэтому создание недорогого компьютерного комплекса, обеспечивающего повышенную точность измерения основных параметров искажения сигналов прошедших тракт связи, их допусковый контроль и автоматическое документирование полученных результатов, весьма актуально.

В данной статье приводятся результаты разработки измерительного комплекса, в котором используются программно реализованные прямые и косвенные методы измерения, статистические методы допускового контроля искажений тестового сигнала прошедшего через канал связи.

Особенности предлагаемого метода оценки искажений речевого потока в каналах связи

В процессе прохождения сигнала по каналу связи его параметры неизбежно подвергаются специфическим для данного тракта искажениям. Эти искажения носят как регулярный, так и случайный характер. Следовательно, исследуемый тракт преобразует исходный (тестовый) аудио сигнал $u_T(t)$ в соответствии с некоторым оператором A

$$u(t) = A\{u_T(t), \Delta K(t), \Delta T(t), \Delta f(t)\}, \quad (1)$$

где $\Delta K(t)$ – функция, характеризующая нестабильность параметров функциональных узлов, $\Delta T(t)$, $\Delta f(t)$ – функции, характеризующие искажения временных и частотных параметров.

Статистическую оценку отличия искаженного сигнала $u(t)$ от тестового $u_T(t)$, т.е. косвенную интегральную оценку уровня искажений, удобно проводить сравнением нормированных автокорреляционной функции (АКФ) тестового и взаимно корреляционной функции (ВКФ) искаженного и тестового сигналов [1, 3]

$$\rho_B(\tau) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} u_c(t-\tau)u_T^*(t)dt = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} [u_c(t-\tau) + \Delta u(t-\tau)]u_T^*(t)dt = \rho_A(\tau) + \Delta\rho(\tau), \quad (2)$$

где $E = \int_0^{T_c} |u_T(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |G_T(\omega)|^2 d\omega$ – энергия тестового сигнала, $\Delta\rho(\tau)$ – разность между ВКФ и АКФ.

Функция $\Delta\rho(\tau)$ или ее дискретное представление $\Delta\rho(i)$ может быть принята за интегральный показатель качества передачи сигналов[2]

Методика и результаты эксперимента

Исходными данными для анализа являлись входные и выходные файлы временного представления сигнала в стандартном wav-формате.

Обработка реализована в среде проектирования инженерных приложений MATLAB, поскольку в ней реализованы функции работы с wav-файлами, вычисления функций корреляции и ковариации, удобный интерфейс представления полученных результатов.

Поскольку wav-файлы получены на разных, находящихся на большом удалении друг от друга концах канала связи, то неизбежна случайная начальная задержка между исходным (опорным) сигналом и сигналом прошедшим канал связи. Эта случайная задержка, с одной стороны, является важным параметром канала связи, а с другой – маскирует и затрудняет измерение других параметров. Поэтому естественным первым шагом анализа было измерение этой задержки и устранение ее влияния на последующий анализ путем совмещения во времени моментов начала обоих сигналов. Эту операцию можно реализовать либо вручную в одном из редакторов звуковых сигналов, вычисляя количество отсчетов необходимых для совмещения файлов, либо автоматически на основе анализа временных положений максимумов АКФ и ВКФ [4]

$$B(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^N U_{\text{вх}}(\tau) U_{\text{вых}}(n - \tau), \quad (4)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входной сигнал; $U_{\text{вых}}$ – сигнал прошедший канал связи; $B(\tau)$ – ВКФ.

Нахождение максимального пика ВКФ и его временного положения $\tau_{\text{см}_n}$, относительно основного пика АКФ, характеризующее начальное рассогласование сигналов во времени, реализовано с использованием библиотечных функций MATLAB.

Работа данного алгоритма отражена на рис.1 и 2. На рис.1 (верхний) видно взаимное расположение реализаций входного и выходного сигналов, а на рис.1 (нижний) – АКФ входного сигнала и ВКФ входного и выходного сигналов. При активации кнопки «Поиск смещ.» в окне над ней выводится измеренное значение (в отсчетах) задержки, необходимой для совмещения временного положения сигналов.

Полученное значение смещения вводится в ячейку «Смещение_отсч.». При повторном нажатии на кнопку «Поиск смещ.» это смещение компенсируется и в окне над кнопкой должен показаться ноль (или минимально допустимое значение). Взаимное расположение сигналов после компенсации начального рассогласования отображено на рис. 2 (верхний). ВКФ с учетом компенсации начального смещения

$$B(\tau) = \frac{1}{N} \sum_n U_{\text{вх}}(n) U_{\text{вых}}(n - \tau + \tau_{\text{см}_n}) \quad (5)$$

показана на рис. 2 (нижний). Здесь же изображена и АКФ входного сигнала. Такое совмещение сигналов, а также АКФ и ВКФ позволяет визуализировать искажения, характерные для конкретной исследуемой системы связи. В частности, видно, что не смотря на компенсацию начальной задержки, проявляются локальные вариации смещения отдельных участков временной реализации выходного сигнала, связанные с более тонкими особенностями функционирования канала связи.

Дальнейший более глубокий анализ искажений сигнала, прошедшего канал связи, проводится в отдельных временных окнах, разделив весь интервал анализа на равные интервалы (см. рис. 3). При этом АКФ и ВКФ сигналов вычисляются в полученных временных окнах

$$B(\tau) = \frac{1}{KN} \sum_k \sum_n U_{\text{вх}}((k * t_{\text{окт}}) + n) U_{\text{вых}}((k * t_{\text{окт}}) + n - \tau + \tau_{\text{см}_n}). \quad (6)$$

Как видно из рис. 3, локальные рассогласования приводят к смещению основного пика и уменьшению его амплитуды, по которым можно судить об особенностях и уровне локальных искажений сигнала характерных для данного канала связи. Для данного канала связи характерно возрастание со временем искажений и даже пропадание сигнала.

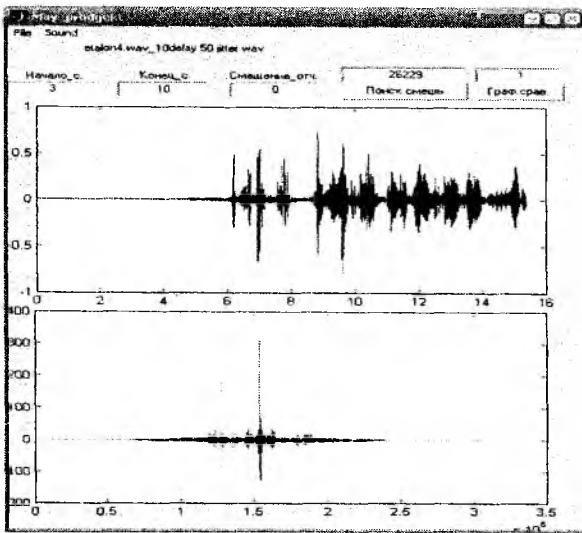


Рис. 1

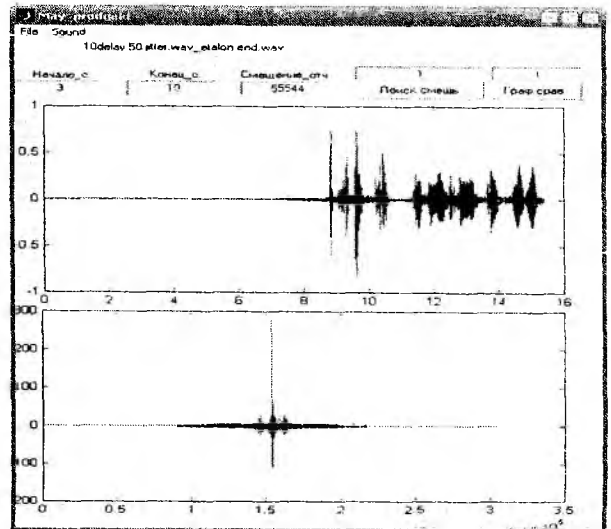


Рис. 2

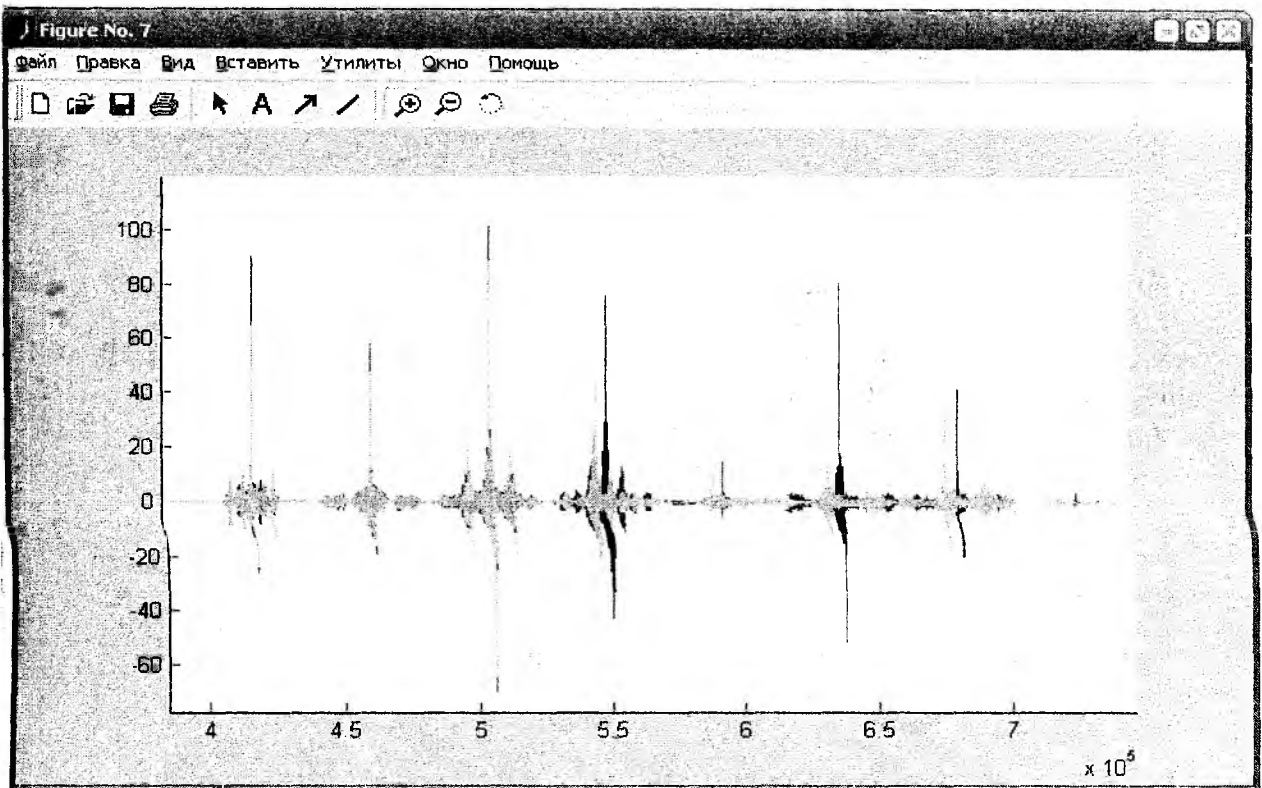


Рис. 3

Данные графики позволяют судить о характере изменения задержек, носят ли они линейный или случайный характер. При достаточном количестве реализаций можно судить о закон распределения задержек.

Повторив процесс совмещения максимумов КФ

$$B(\tau) = \frac{1}{KN} \sum_k \sum_n U_{\text{вх}}((k * t_{\text{ан}}) + n) U_{\text{вых}}((k * t_{\text{ан}}) + n - \tau + \tau_{\text{см}_n} + \tau_{\text{см}_k}), \quad (6)$$

где $\tau_{\text{см}_k}$ – величина смещения на каждом интервале анализа k ; можно оценить степень и возможные причины уменьшения или пропадания сигнала. АКФ и ВКФ сигналов после совмеще-

ния на каждом участке анализа изображены на рис. 4. Как следует из этого рисунка, сигналы фактически совмещены по времени и отличаются только уровнем основного пика КФ.

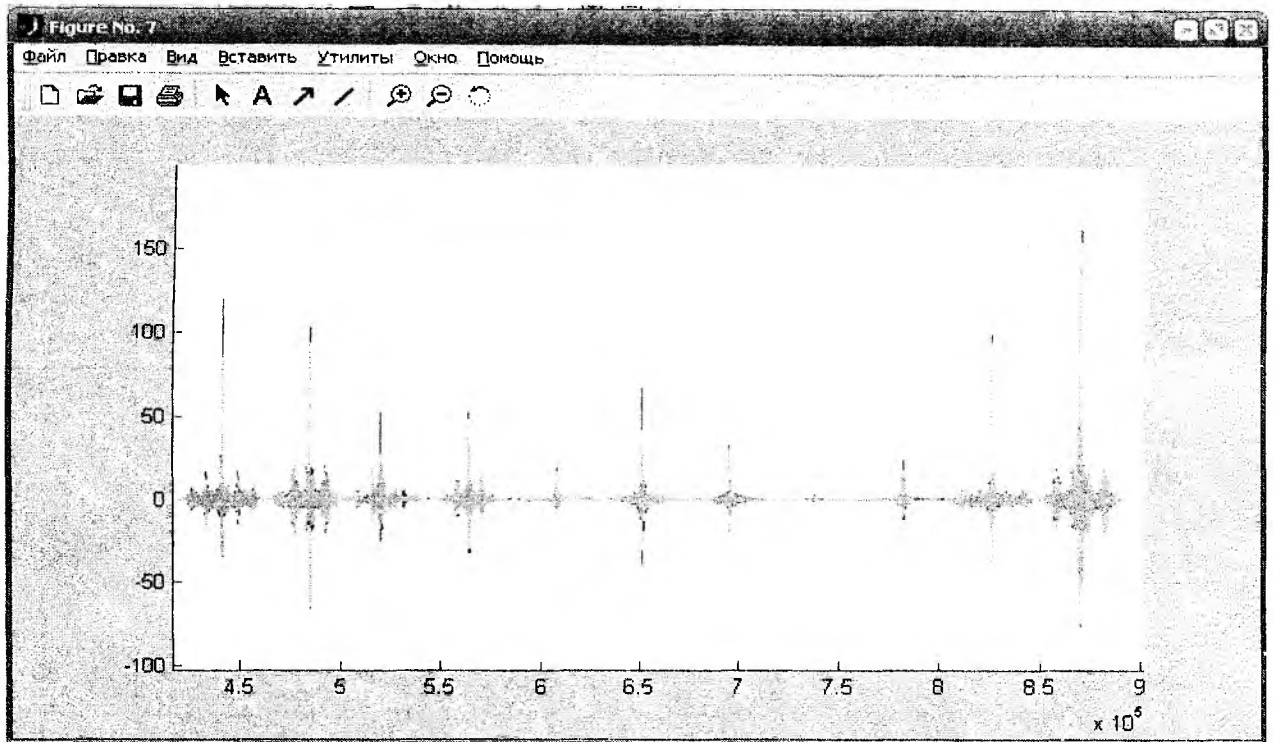


Рис. 4

Таким образом, предложен метод оценки качества связи, основанный на оценке степени отличия АКФ входного сигнала и ВКФ выходного и входного сигналов канала связи. При этом обеспечивается измерение начальной задержки сигнала и локальных случайных и регулярных временных нестабильностей. Оконный корреляционный анализ позволяет определить степень искажений сигнала каналом связи, а также численно оценить количество пропавших отсчетов.

Данные измерения могут быть использованы также для допускового контроля уровней искажений и качества аудио связи и для идентификации типа канала связи

Список литературы: 1. Фалькович С.Е.. Оценка параметров сигналов. М.: Сов. радио, 1970. 336 с. 2. Кондратьев С.Л., Карпин Ю.В. О корреляционной оценке качества канала связи. Радиотехника. 1972. № 3. С. 93–95. 3. Лошаков В.А. Сидоров В.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров сложных сигналов // Радиотехника. 2007. Вып. 151. С.151-157. 4. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. М.: Вильямс, 2004. 992 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 05.10.2009