

УДК 534.782.001:621.39

Продеус А.Н., д.т.н. (Национальный технический университет Украины «КПИ»)

О МОДЕЛИРОВАНИИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ АЛГОРИТМОВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Продеус А.М. Про моделювання мовного сигналу й навколишнього середовища при дослідженнях алгоритмів інструментальних систем акустичної експертизи. Розроблено систему імітації мовного сигналу й навколишнього середовища для програмного комплексу алгоритмів об'єктивної акустичної експертизи. Вироблено й експериментально перевірено пропозиції з алгоритмічної реалізації такої системи.

Ключові слова: МОВНИЙ СИГНАЛ, МОДЕЛЬ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА, АКУСТИЧНА ЕКСПЕРТИЗА ПРИМІЩЕНЬ, ФОРМАНТНИЙ МЕТОД, ФОРМАНТНО-МОДУЛЯЦІЙНИЙ МЕТОД

Продеус А.Н. О моделировании речевого сигнала и окружающей среды при исследованиях алгоритмов инструментальных систем акустической экспертизы. Разработана система имитации речевого сигнала и окружающей среды для программного комплекса алгоритмов объективной акустической экспертизы. Выработаны и экспериментально проверены предложения по алгоритмической реализации такой системы.

Ключевые слова: РЕЧЕВОЙ СИГНАЛ, МОДЕЛЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, АКУСТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ПОМЕЩЕНИЙ, ФОРМАНТНЫЙ МЕТОД, ФОРМАНТНО-МОДУЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД

Prodeus A.M. On speech signal and environment simulations upon researches of algorithms of instrumental audio examination systems. The system of simulation of a speech signal and environment for a program complex of algorithms of objective audio examination is developed. Proposals on algorithmic implementation of such system are developed and experimentally checked.

Keywords: SPEECH SIGNAL MODEL, ENVIRONMENT MODEL, AUDIO EXAMINATION OF ROOMS, FORMANT METHOD, FORMANT-MODULATION METHOD

Введение. Постановка задачи. Модели окружающей среды весьма востребованы при экспериментальных исследованиях различных систем обработки речевых сигналов, важной разновидностью которых являются системы объективной (инструментальной) акустической экспертизы помещений и каналов связи [1].

Математическую модель окружающей среды можно представить соотношением [2]

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(v, t)x(t-v)dv + n(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ – тестовый сигнал, имитирующий базовые свойства речевого сигнала; $h(v, t)$ – импульсная характеристика (ИХ) канала передачи речевого сигнала; $n(t)$ – шумовая помеха; $y(t)$ – искаженный сигнал.

Данной модели соответствует схема, представленная на рис. 1. В общем случае канал передачи речевого сигнала, описываемый ИХ $h(v, t)$, можно представлять как фильтр с переменными параметрами, а помеху $n(t)$ – как нестационарный случайный процесс (НСП). Использование модели (1) существенно упрощается, если допустимы предположения, что свойства канала во времени не изменяются ($h(v, t) = h(v)$), а шумовая помеха $n(t)$ является стационарным, в широком смысле, случайным процессом (ССП) [3].

Существует, по меньшей мере, два основных подхода к компьютерному моделированию окружающей среды. В первом случае выборочные реализации тестового сигнала $x(t)$, шума $n(t)$ и ИХ $h(v)$ генерируют непосредственно в процессе проведения каждого опыта, исходя из заданных требований к интегральному отношению сигнал-шум и окрашенности шума. Такой подход наиболее часто используют при экспериментальных исследованиях алгоритмов акустической экспертизы [4...6], как хорошо согласующийся с типичными условиями эксплуатации соответствующих инструментальных систем.

При втором подходе используют заранее заготовленный “корпус” сигналов, представляющий собой предварительно сгенерированный и сохраненный на цифровом

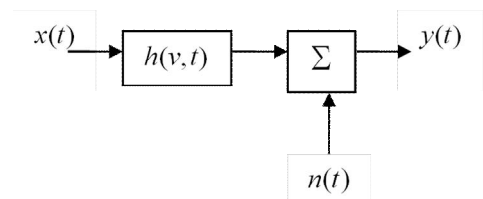


Рис. 1. Модель окружающей среды

носителе набор записей тестовых сигналов $x(t)$, ИХ $h(v)$ и сигналов $y(t)$ [7, 8]. Обычно так поступают при экспериментальных исследованиях алгоритмов коррекции речевых сигналов и алгоритмов автоматического распознавания речи [9, 10].

Цель данной работы состоит в выработке предложений по алгоритмической реализации подсистемы имитации речевого сигнала и окружающей среды для программного комплекса, обеспечивающего измерение разборчивости речи в соответствии с алгоритмами формантного и формантно-модуляционного методов [6]. При этом показана целесообразность сочетания элементов каждого из указанных выше подходов, а именно: генерирования модели речевого сигнала $x(t)$ и шумового компонента $n(t)$, и использования предварительно записанной ИХ $h(v)$.

1. Алгоритмы измерений разборчивости речи формантным и формантно-модуляционным методом. При инструментальной акустической экспертизе помещений с импульсной характеристикой (ИХ) $h(v)$, в определенной точке помещения (местоположение диктора) излучают тестовый сигнал $x(t)$, а в иной точке помещения (местоположение аудитора) принимают сигнал $y(t)$, математически описываемый соотношением (1).

При использовании формантно-модуляционного (ФМ) метода, как и в случае формантного метода, вычисляют артикуляционную разборчивость A [11]:

$$A = \sum_{k=1}^K p_k \cdot P_k(E_k). \quad (2)$$

где p_k – вероятность пребывания формант в k -й полосе частот; $P_k(E_k)$ – коэффициент восприятия речи; E_k – эффективный уровень ощущения речевого сигнала в k -й полосе частот Δf_k . Впоследствии артикуляционная разборчивость A может быть пересчитана с помощью известных функциональных зависимостей, в слоговую, словесную и фразовую виды разборчивости [1].

Отличие упомянутых двух методов в том, что если в форматном методе используют тестовый сигнал $x(t)$ в виде ССП, спектр мощности которого подобен долговременному спектру речи, а затем оценивают E_k в соответствии с соотношением

$$E_k \approx SNR_k = 10 \lg \frac{D_{sk}}{D_{nk}}, \quad (3)$$

в ФМ методе для оценивания E_k предложено использовать иной способ, применяющийся в модуляционном методе и позволяющий корректно учесть влияние реверберационной помехи [1, 12]. В выражении (3) SNR_k – парциальное отношение сигнал-шум; D_{sk} и D_{nk} – соответственно дисперсии стационарных сигнала и шума в k -й полосе частот,

Это косвенный способ измерений отношения сигнал-шум, согласно которому используют тестовый сигнал $x(t)$ в виде НСП, дисперсия которого $D_x(t)$ модулирована по гармоническому закону с частотой модуляции F :

$$x(t) = \xi(t) \sqrt{f(t)}, \quad f(t) = 1 + \cos 2\pi Ft, \quad (4)$$

$$D_x(t) = D_\xi (1 + \cos 2\pi Ft), \quad (5)$$

где $\xi(t)$ – ССП с дисперсией D_ξ и со спектром мощности, повторяющим форму долговременного спектра речи.

Дисперсия $D_y(t)$ НСП $y(t)$ будет также модулирована по гармоническому закону с той же частотой F , однако, вследствие влияния реверберационной и шумовой помех, коэффициент модуляции m дисперсии $D_y(t)$ оказывается меньше единицы. В полном варианте ФМ метода при измерениях используют дискретный набор из 14 частот модуляции в диапазоне $F_i = 0,63 \dots 12,5$ Гц и измеряют “эквивалентное” отношение сигнал-шум:

$$E_k = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} SNR_{k,i}, \quad (6)$$

$$SNR_{k,i} = 10 \lg \frac{m_k(F_i)}{1 - m_k(F_i)}. \quad (7)$$

где $m_k(F_i)$ – коэффициент модуляции дисперсии $D_y(t)$ сигнала $y(t)$, наблюдаемого в k -й полосе частот. Коэффициенты модуляции $m_k(F_i)$ оценивают с использованием

преобразования Фурье:
$$\tilde{m}_k(F_i) = \frac{2|A_{ik}(F_i)|}{|A_{ik}(0)|}, \quad A_{ik}(f) = \frac{1}{T} \int_0^T y_{ik}^2(t) e^{-j2\pi ft} dt. \quad (8)$$

где $|\cdot|$ – символ модуля; T – длительность реализации процесса

$$y_{ik}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(v) x_{ik}(t-v) dv + n(t), \quad (9)$$

где $x_{ik}(t) = \xi_k(t) \sqrt{1 + \cos 2\pi F_i t}$ – модулированный полосовой белый шум в k -й полосе частот; $\xi_k(t)$ – результат фильтрации ССП $\xi(t)$ k -м полосовым фильтром.

Смысл соотношений (8) удобно пояснить на примере превалирования шумовой помехи. В этом случае сигнал в точке приема при этом представляет собой аддитивно-мультипликативный нестационарный случайный процесс:

$$y_{ik}(t) = \xi_k(t) \sqrt{1 + \sin 2\pi F_i t} + n_k(t). \quad (10)$$

В силу статистической независимости процессов $\xi_k(t)$ и $n_k(t)$, дисперсия сигнала (10) имеет вид (рис. 2,а):

$$D_{y_{ik}}(t) = D_{\xi_k} (1 + \sin 2\pi F_i t) + D_{n_k}, \quad (11)$$

где D_{n_k} – дисперсия шума $n(t)$ в k -м частотном канале.

Амплитудный спектр $A_{ik}(f)$ функции (11) показан на рис. 2,б.

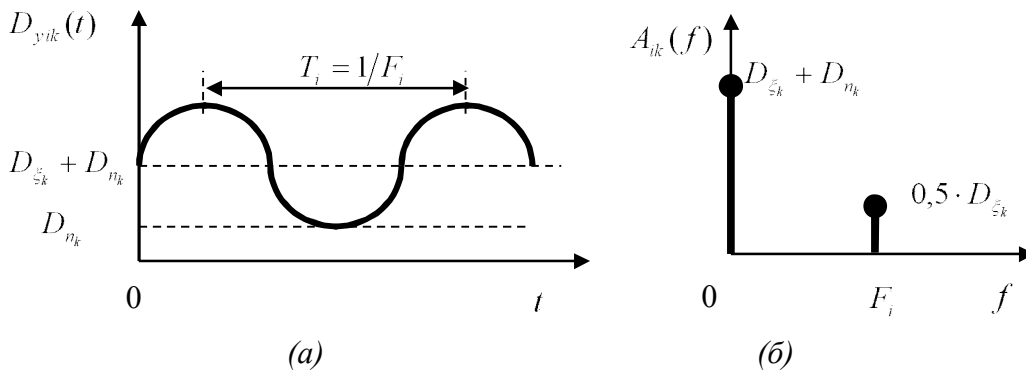


Рис. 2. Модель смеси сигнала с шумовой помехой:
(а) – функция времени; (б) – амплитудный спектр

В работе [12] предложен ускоренный вариант ФМ метода, в котором вместо 14 измерительных опытов с тестовыми сигналами (4) проводят единственный опыт с тестовым сигналом:
$$x(t) = \xi(t) \sqrt{f_5(t)}, \quad f_5(t) = 1 + 0,32 \sum_{i=1}^5 \sin 2\pi F_i t, \quad F_i = iF, \quad F = 0,7 \text{ Гц}. \quad (12)$$

При этом коэффициенты модуляции оценивают в соответствии с соотношением:

$$\tilde{m}_k(F_i) = \frac{6,25|A_{ik}(F_i)|}{|A_{ik}(0)|}, \quad (13)$$

а вместо соотношения (6) используют его аналог:
$$E_k = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 SNR_{k,i}. \quad (14)$$

Справедливость соотношения (13) можно проиллюстрировать с помощью рис. 3, где показаны амплитудный спектр $A_{xk}(f)$ дисперсии $D_{xk}(t) = D_{\xi_k} (1 + 0,32 \sum_{i=1}^5 \sin 2\pi F_i t)$ сигнала

$x_k(t)$, полученного фильтрацией сигнала $x(t)$ в k -й октавной полосе частот, (рис. 3 (а)), а также амплитудный спектр $A_{y_k}(f)$ дисперсии $D_{y_k}(t) = D_{\xi_k}(1 + 0,32 \sum_{i=1}^5 \sin 2\pi F_i t) + D_{nk}$ сигнала $y_k(t)$, наблюдаемого в той же полосе частот (рис. 3 (б)).

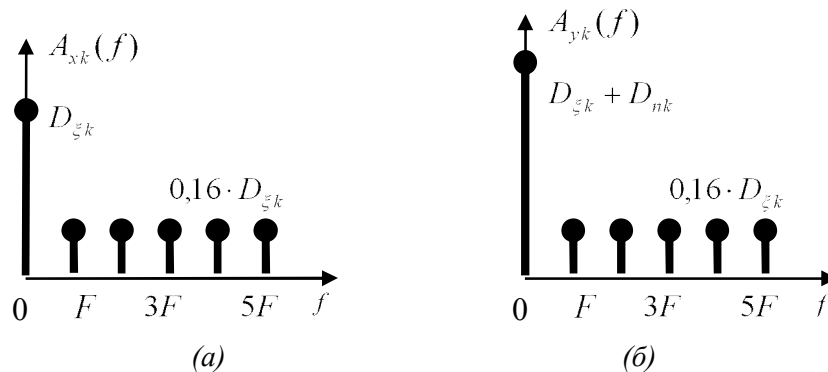


Рис. 3. Амплитудный спектр смеси специального тестового сигнала с шумовой помехой: (а) – в отсутствие шумовой помехи; (б) – при наличии шумовой помехи

2. Программный комплекс измерений разборчивости речи. При компьютерном моделировании измерительной системы, реализующей ФМ метод, целесообразно создать унифицированную систему вычислительных алгоритмов и программных модулей, позволяющую реализовывать оценивание разборчивости речи как по алгоритмам ФМ метода, так и по алгоритмам формантного метода. Полезность такой унификации состоит в возможности быстрой перестройки компьютерной модели, что необходимо при желании сопоставить результаты измерений, реализованных на основе формантного и ФМ методов.

Укрупненная схема программного комплекса, реализованного в среде Matlab, для моделирования системы измерений разборчивости речи форматным методом, описана в работе [1] и представлена на рис. 4, где широкими стрелками обозначен многоканальный характер передачи данных.

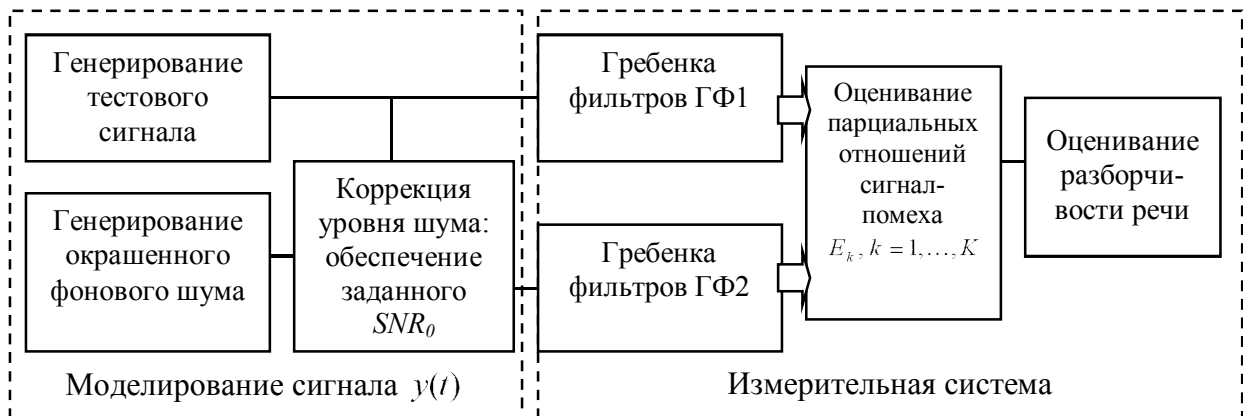


Рис. 4. Программный комплекс для оценки разборчивости речи форматным методом

Поскольку ФМ метод отличается от формантного метода только способом оценивания парциальных отношений сигнал-помеха, такой программный комплекс целесообразно трансформировать в соответствии с требованиями ФМ метода. С этой целью следует осуществить следующие изменения в схеме рис. 4:

- вместо стационарного тестового сигнала $\xi(t)$, долговременный спектр мощности которого подобен долговременному спектру мощности речевого сигнала, следует использовать нестационарный тестовый сигнал $x(t)$, описываемый соотношениями (4)–(5);
- к выходу генератора тестового сигнала следует подключить блок имитации реверберационной помехи;

– оценивание парциальных отношений сигнал-помеха $E_k, k = 1, \dots, K$, следует производить косвенным методом, в соответствии с соотношениями (7–9), т.е. посредством предварительного оценивания коэффициента модуляции смеси сигнала с помехой в каждом частотном канале.

3. Моделирование сигнала $y(t)$. Для генерирования фонового шума целесообразно использовать схему «ступенчатого» окрашивания белого шума, представляющую собой гребенку из семи полосовых октавных фильтров с регулируемыми коэффициентами усиления a_1, \dots, a_7 , на вход которой подается стационарный белый шум (рис. 5). В случае формантного метода схема формирования тестового сигнала выглядит аналогично. Отличие лишь в том, что в этом случае «окрашивание» белого шума производится так, чтобы спектр полученного тестового сигнала был подобен долговременному спектру речевого сигнала.

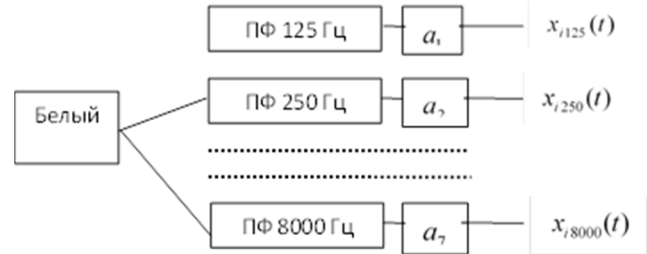


Рис. 5. Схема формирования окрашенного шума

Из соотношений (4) и (12) следует, что в случае ФМ метода данную схему следует видоизменить, подвергая сигналы на выходах полосовых фильтров амплитудной модуляции (рис. 6).

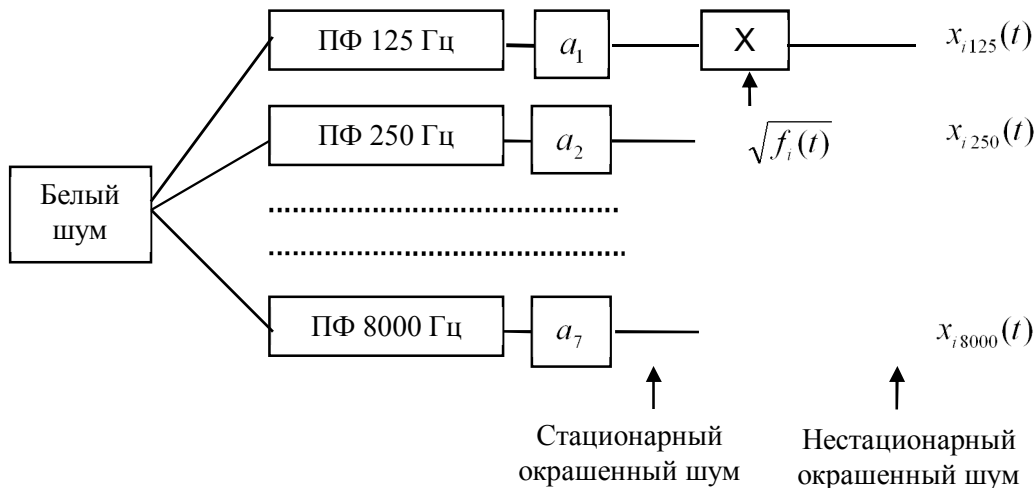


Рис. 6. Схема формирования компонентов тестового сигнала для ФМ метода

Поскольку схема рис. 5 является частным случаем более общей схемы рис. 6, первый шаг по унификации алгоритмов генерирования тестовых сигналов состоит в придании функции модуляции сигналов опционального характера, т.е. данная функция должна включаться или выключаться по требованию пользователя.

Идея моделирования ступенчато окрашенных процессов представляется плодотворной, поскольку позволяет существенно упростить измерительную часть схемы рис. 4. Действительно, гребенки фильтров ГФ1 и ГФ2 можно убрать из состава измерительной системы, поскольку их роль теперь выполняют аналогичные гребенки фильтров, входящие в состав генераторов тестового сигнала и шума.

Представленный на рис. 4 блок коррекции уровня шума необходим для обеспечения требуемого интегрального отношения сигнал-шум SNR_0 . С этой целью выборки сгенерированного окрашенного шума умножаются на корректировочный коэффициент $k_0 = 10^{0,05(SNR-SNR_0)}$, где SNR – «начальное» отношение сигнал-шум для конкретных реализаций сигнала и шума, $SNR_0 = 10 \lg \frac{D_s}{D_n}$ – требуемое интегральное отношение сигнал-

шум, где D_s и D_n – дисперсии сигнала и шума, соответственно. Однако вместо интегрального уровня шума можно корректировать интегральный уровень тестового сигнала. В этом случае выборки сгенерированного тестового сигнала следует умножать на корректировочный коэффициент $k_0 = 10^{0,05(SNR_0 - SNR)}$.

Таким образом, обобщенную схему программного комплекса унифицированных алгоритмов, предназначенного для моделирования измерений разборчивости речи формантным или ФМ методом, можно представить рис. 7, где “сменные” блоки (генерирование тестового сигнала, измерение парциальных отношений сигнал-шум) обведены пунктирными линиями, а широкими стрелками обозначен многоканальный характер передачи данных. Блок свертки тестового сигнала $x(t)$ с ИХ $h(v)$ является “сменным” в том смысле, что его отключают, если требуется моделирование ситуации с преобладанием шумовой помехи.

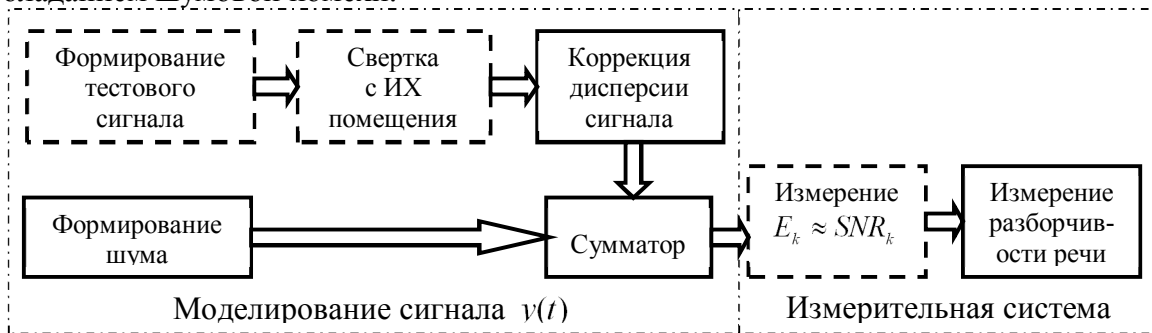


Рис. 7. Схема программного комплекса унифицированных алгоритмов

Важной особенностью реализации блока свертки является то, что ИХ $h(v)$ не генерируется, а считывается из заранее сформированного “корпуса” записей ИХ $h(v)$ для реальных помещений. Необходимость такого приема обусловлена тем, что проверить правильность измерений разборчивости речи при существенном влиянии реверберации можно только с помощью артикуляционных испытаний [1]. Поскольку такие испытания проводятся в реальных помещениях, при компьютерном моделировании желательно как можно точнее воссоздать их “образы”.

4. Экспериментальная проверка программного комплекса. Сначала рассмотрим результаты моделирования ситуации, когда влияние реверберационной помехи на разборчивость речи пренебрежимо мало, так что превалирует влияние шумовой помехи. Оценки словесной разборчивости, полученные формантно-модуляционным методом для различных интегральных отношений сигнал-шум и для различной окрашенности шума, приведены на рис. 8,а.

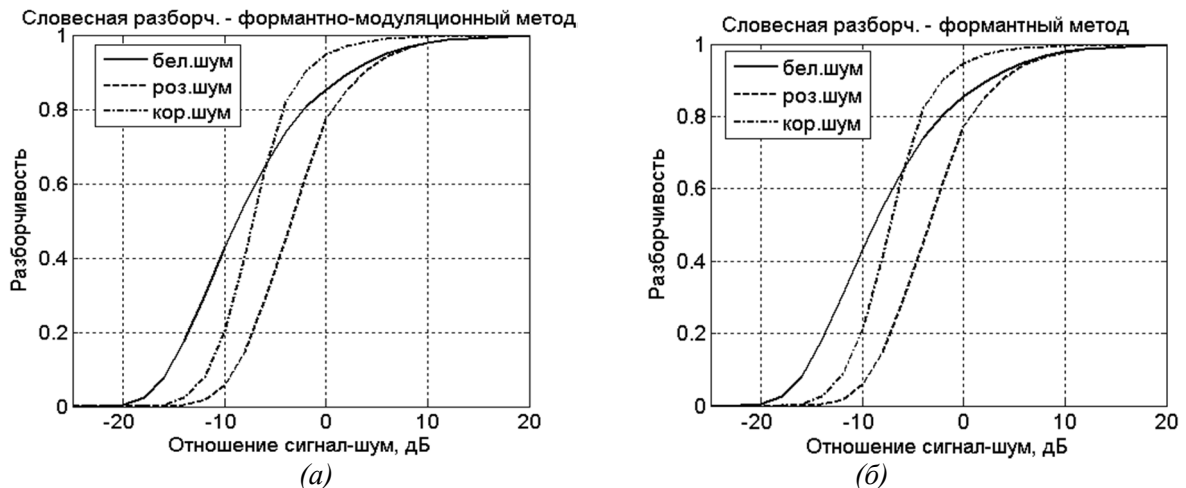


Рис. 8. Оценки разборчивости для шумовой помехи:
(а) – формантно-модуляционный метод; (б) – формантный методы

Рядом (рис. 8,б) показаны аналогичные графики для формантного метода. Как видим, оба метода приводят к практически одинаковым результатам, несмотря на существенное различие тестовых сигналов и способов оценивания отношения сигнал-шум. Это означает, что компьютерный комплекс, содержащий разработанную систему моделирования речевого сигнала и окружающей среды, работоспособен и обеспечивает получение правильных результатов в случае преобладающего действия шумовой помехи.

При наличии выраженной реверберационной помехи, вместо формантного метода, не способного обеспечить корректное измерение разборчивости речи, применялся ФМ метод. Результаты моделирования измерений ФМ методом, с учетом влияния реверберационной помехи, представлены на рис. 9,а (для помещения с временем реверберации $T_{60} = 0,6$ с) и на рис. 9,б (для помещения с временем реверберации $T_{60} = 1$ с).

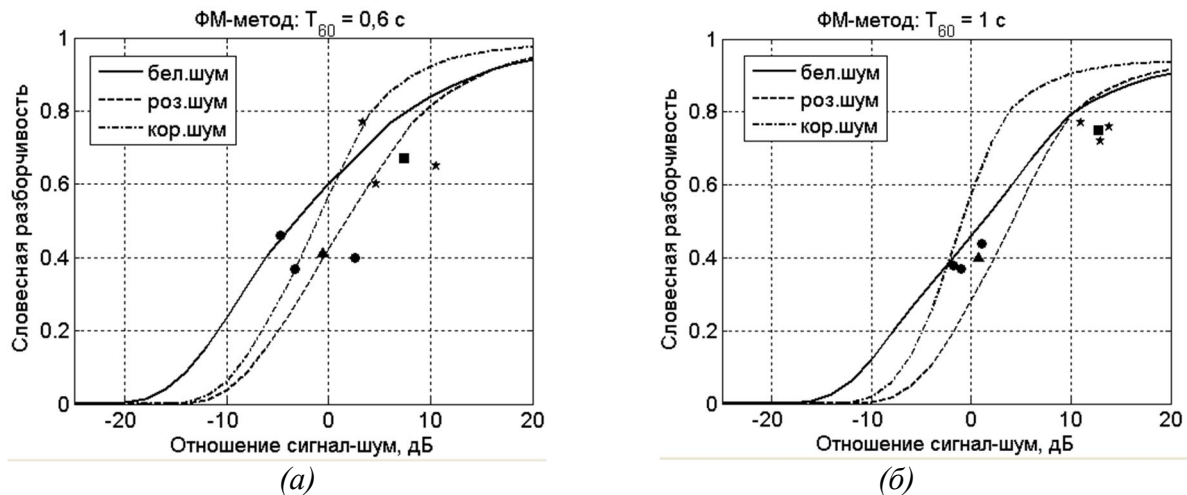


Рис. 9. Оценки разборчивости для реверберационной и шумовой помех:

(а) – для $T_{60} = 0,6$ с; (б) – для $T_{60} = 1$ с

Для проверки правильности измерений разборчивости речи ФМ методом использовались артикуляционные испытания, проводившиеся в соответствии с рекомендациями ГОСТ 25902-83. В артикуляционных испытаниях участвовали 3 диктора и 3 аудитора, причем в каждом опыте каждый диктор зачитывал по 5 слоговых таблиц из ГОСТ 50840-95. В каждом из помещений проводилось по две серии опытов, отличавшихся уровнями шумовой помехи. В одной серии опытов шумовой помехой служил естественный шумовой фон. Во второй серии опытов к естественному шумовому фону добавлялся белый шум, генерируемый компьютером и излучаемый акустической системой, расположенной между диктором и аудиторами, на расстоянии 1,5...2 м от аудиторов.

Среди аудиторов размещался ненаправленный микрофон GT57, с помощью которого воспринимаемый аудиторами сигнал документировался на диске второго компьютера. Эта запись впоследствии использовалась для «апостериорной» оценки отношения сигнал-шум, где под сигналом подразумевался речевой сигнал, искаженный реверберационной помехой, а под шумом – только шумовая помеха. Следует признать, что такая трактовка понятия «отношение сигнал-шум» не совсем согласуется с понятием «эквивалентное отношение сигнал-шум», принятым для модуляционного метода [11]. Принципиальная возможность такого согласования может служить предметом дальнейших исследований. Вместе с тем, в рамках данной работы такая трактовка была одинаковой как на этапе компьютерного моделирования, так и на этапе артикуляционных испытаний.

Результаты артикуляционных испытаний также представлены на рис. 9. При этом усредненные по аудиторам результаты, соответствующие разным дикторам, в серии опытов для высокого отношения сигнал-шум (фоновый шум) представлены звездочками, а полностью усредненный результат (по аудиторам и по дикторам) представлен квадратиком. Аналогичным образом представлены результаты для серий опытов с пониженным

отношением сигнал-шум, когда к фоновому шуму добавлялся шум от акустической системы. При этом значения словесной разборчивости, соответствующие результатам разных дикторов представлены кружочками, а полностью усредненный результат представлен треугольником. Очевидным является достаточно хорошее согласование результатов модельных экспериментов и артикуляционных испытаний, что свидетельствует о работоспособности и правильности функционирования разработанной системы моделирования речевого сигнала и окружающей среды.

Выводы.

1. При разработке системы имитации речевого сигнала и окружающей среды для программного комплекса алгоритмов объективной акустической экспертизы целесообразно сочетать различные способы имитации речевого сигнала, шумовой и реверберационной помехи, а именно: использовать предварительно записанную ИХ помещения, а модели речевого сигнала и шумовой помехи синтезировать непосредственно в процессе моделирования. Такой подход позволяет впоследствии осуществить корректное сопоставление результатов компьютерного моделирования комплекса алгоритмов объективной акустической экспертизы с результатами субъективной экспертизы (артикуляционных испытаний).

2. Использование модели фонового шума в виде ступенчато окрашенного шума целесообразно сочетать с аналогичным подходом к генерированию модели речевого сигнала. Применение гребенки фильтров в системе имитации речевого сигнала и окружающей среды позволяет существенно упростить модель измерительной системы, а также сократить время вычислений в этой модели.

3. Экспериментальная проверка, осуществленная путем компьютерного моделирования и артикуляционных испытаний, показала работоспособность и правильность функционирования разработанной системы моделирования речевого сигнала и окружающей среды. В частности, для ситуации превалирования шумовой помехи практически совпали результаты оценивания разборчивости речи формантным и ФМ методами. Для ситуации заметного влияния реверберационной помехи результаты артикуляционных испытаний хорошо согласуются с результатами измерений, осуществленных ФМ методом.

4. Разработанная система имитации речевого сигнала и окружающей среды может использоваться как в учебном процессе, так и при разработке прототипов промышленных инструментальных систем акустической экспертизы.

Литература

1. Продеус А.Н. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации / А.Н. Продеус, В.С. Дидковский, М.В. Дидковская. – К: Имэкс-ЛТД, 2008. – 420 с.
2. Cohen I. Speech enhancement for non-stationary noise environments / Cohen I., Berdugo B. // *Signal Processing*. – 2001. – № 81. – P. 2403-2418.
3. Alsteris L. Short-Time Phase Spectrum in Human and Automatic Speech Recognition. [Электронный ресурс] : PhD Thesis / Alsteris L.: Griffith University, 2005. – Режим доступа : <http://www4.gu.edu.au:8080/adt-root/public/adt-QGU20060727.090845/> (05.11.2012)
4. Продеус А.Н. Комплекс вычислительных программ и имитационных моделей для измерений разборчивости речи / А.Н. Продеус, А.В. Гавриленко, В.С. Дидковский // *Электроника и связь*. – 2006. – № 1. – С. 87-93.
5. Продеус А.Н. Комплекс вычислительных программ для моделирования измерений разборчивости речи / А.Н. Продеус, А.В. Гавриленко, В.С. Дидковский // *Электроника и связь*. – 2006. – № 6. – С. 16-23.
6. Моделирование алгоритмов формантно-модуляционного метода оценивания разборчивости речи / А.Н. Продеус, Л.Б. Дронжевская, В.А. Климков, Д.А. Шагитова // *Электроника и связь, тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии»*. – 2011. – № 2. – С. 79-85.

7. Brael&Kjaer. Using RASTI to determine speech privacy. [Електронний ресурс]. // Режим доступа к ресурсу : <http://www.bksv.com/doc/BO0262.pdf> (05.11.2012)
8. Кривнова О.Ф. Речевые корпуса на новом технологическом витке / О.Ф. Кривнова // Речевые технологии. – 2008. – № 2. – С. 13–23.
9. Springer Handbook of Speech Processing / под редакцией Jacob Benesty, M. Mohan Sondhi, Yiteng Huang // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. – 1176 p.
10. Gemello R. Automatic Speech Recognition with a Modified Ephraim-Malah Rule / Gemello R., Mana F., De Mori R. // IEEE Signal Processing Letters. – 2006. – V. 13. – № 1. – P. 52-55.
11. Продеус А.Н. О некоторых особенностях развития объективных методов измерений разборчивости речи / А.Н. Продеус // Электроника и связь, тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2010. – № 2. – С. 217-223.
12. Prodeus A. Rapid Version of Formant-Modulation Method of Speech Intelligibility Estimation / Prodeus A. // Proceedings of the VII International Conference MEMSTECH 2011. – Lviv, Polyana, 2011. – P.61-63.

УДК 621.391+519.21

Попов А.А., к.т.н. (Центральный НИИ вооружения и военной техники ВС Украины)

ИНВАРИАНТЫ ГРУПП ОТОБРАЖЕНИЙ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ В МЕТРИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ СО СВОЙСТВАМИ L -ГРУППЫ

Попов А.О. Инварианты групп отображений миттєвих значень випадкових сигналів у метричному просторі з властивостями L -групи. Розглянуті інваріанти груп відображень випадкових сигналів, основаних на імовірнісних характеристиках результатів взаємодії довільної пари миттєвих значень (відліків) сигналів на решітці. Встановлені метричні співвідношення між миттєвими значеннями сигналів, які взаємодіють в просторі з властивостями L -групи.

Ключові слова: ИНВАРИАНТ ГРУППЫ ВІДОБРАЖЕНЬ, МЕТРИЧНИЙ ПРОСТІР, L -ГРУПА, ЧАСТКОВО УПОРЯДКОВАНА МНОЖИНА, РЕШІТКА, ВЕРХНЯ ГРАНЬ, НИЖНЯ ГРАНЬ

Попов А.А. Инварианты групп отображений мгновенных значений случайных сигналов в метрическом пространстве со свойствами L -группы. Рассмотрены инварианты групп отображений мгновенных значений случайных сигналов, основанных на вероятностных характеристиках результатов взаимодействия произвольной пары мгновенных значений (отсчетов) сигналов на решетке. Установлены метрические соотношения между мгновенными значениями взаимодействующих сигналов в пространстве сигналов со свойствами L -группы.

Ключевые слова: ИНВАРИАНТ ГРУППЫ ОТОБРАЖЕНИЙ, МЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО, L -ГРУППА, ЧАСТИЧНО УПОРЯДОЧЕННОЕ МНОЖЕСТВО, РЕШЕТКА, ВЕРХНЯЯ ГРАНЬ, НИЖНЯЯ ГРАНЬ

Popov A.O. Invariants of stochastic signals samples bijections groups in metric space with L -group properties. We considered invariants of stochastic signals samples bijections groups, based on probability characteristics of the signals samples couple interaction result in the lattice. The metric equations between the interacting signals samples in signal space with L -group properties have been established.

Key words: BIJECTIONS GROUP INVARIANT, METRIC SPACE, L -GROUP, PARTLY ORDERED SET, LATTICE, UPPER BOUND, LOWER BOUND.

В ряде задач обработки сигналов может присутствовать необходимость учета статистической взаимосвязи выборочных мгновенных значений (отсчетов) случайных процессов. Взаимная нормированная корреляционная функция $r_{\xi\eta}(t_j, t_k)$ случайных сигналов (процессов) $\xi(t)$, $\eta(t)$ характеризует лишь степень линейной статистической связи случайных величин $\xi(t_j)$ и $\eta(t_k)$ – отсчетов данного случайного процесса [1], поэтому ее использование не может претендовать на адекватное описание статистических