УДК 621.39

Оценивание моделей сигналов и акустических помех в телекоммуникациях аудиообмена

Кропотов Ю. А., Белов А. А., Проскуряков А. Ю., Холкина Н. Е.

Постановка задачи: проблема обработки сигналов в телекоммуникационных системах передачи речи обуславливается недостаточностью достоверной априорной информации о характеристиках наблюдаемых сигналов. Поэтому в работе рассматриваются методы оценивания моделей сигналов в системах телекоммуникаций аудиообмена. Объектом исследования являются методы оценивания статистических характеристик аналоговых сигналов, таких как одномерная плотность вероятностей сигналов и помех в телекоммуникациях, методы определения параметров наблюдаемых сигналов, являющихся аддитивной суммой оцениваемого сигнала и акустической помехи. Целью работы является моделирование сигналов и акустических помех, разработка структуры обработки сигналов на основе оценок параметров модели процесса и модели акустических помех. Разработка структуры шумоподавляющего устройства в телекоммуникационных системах аудиообмена в условиях акустических помех. Используемые методы: в работе рассматриваются модели и методы оценивания сигналов при передаче информационных сообщений в телекоммуникационных системах аудиообмена. Рассмотрены методы создания модели одномерной функции распределения вероятностей речи и акустических помех. Рассмотренная задача создания модели функции распределения сформулирована как задача аппроксимации, на основе методов оптимизации с ограничениями, которые могут быть применимы для выделения полезных сигналов на фоне акустических шумовых помех. Подавление акустических помех основывается на методах адаптивной фильтрации и адаптивной компенсации. Научная новизна работы заключается в оценивании и аппроксимации одномерных функций распределения и корреляционных функций по ограниченным наборам данных и, на этой основе, формировании базы априорной информации и выделения интервалов стационарности наблюдаемых сигналов. На основе сегментации нестационарных сигналов осуществляется их сглаживание и локальная аппроксимация. Результат: предложен новый подход к оцениванию параметров наблюдаемого процесса, основанный на параметрическом представлении акустических сигналов и компонент шумовых составляющих. Практическая значимость: В работе описаны модели эхо-сигналов и структуры абонентских устройств в оперативно-командных телекоммуникационных системах связи.

Ключевые слова: методы оценивания сигналов, речевые сообщения, телекоммуникационные системы, одномерные функции распределения, случайные процессы, эхо сигналы.

Введение

Задачи обработки сигналов в телекоммуникационных системах аудио обмена обусловливаются потребностями выделения информации, повышения устойчивости систем связи, подавления акустических помех и компенсации эха. К указанным задачам относятся задачи диагностики объектов по излучаемым шумовым сигналам, задачи повышения эффективности систем связи.

Кропотов Ю. А., Белов А. А., Проскуряков А. Ю., Холкина Н. Е. Моделирование сигналов в телекоммуникациях аудиообмена в условиях акустических помех // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 3. С. 1-13. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/01-Kropotov.pdf

Reference for citation:

Kropotov Y. A., Belov A. A., Proskuryakov A. Y., Holkina N. E. Evaluation of Signal Models and Acoustic Noise in Telecommunications of Audio Exchange. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 3, pp. 1-13. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/01-Kropotov.pdf (in Russian).

Библиографическая ссылка на статью:

В связи с обработкой сигналов можно поставить задачи: оценивания и аппроксимации одномерных функций распределения и корреляционных функций по ограниченным наборам данных и, на этой основе, формирования базы априорной информации и выделения интервалов стационарности наблюдаемых сигналов. Для построения алгоритма обработки также ставится задача сглаживания и локальной аппроксимации наблюдаемых сигналов и, на этой основе, сегментации нестационарных сигналов; обнаружения и оценивания гармонических сигналов, сигналов с дискретным спектром на фоне акустического шума с непрерывным распределением и, на этой основе, диагностики объектов; спектрального анализа наблюдаемых сигналов, разрешения источников излучения, селекции речевого сигнала и помехи; формирования модели эхо-сигналов и оценивания ее параметров; идентификации нестационарных сигналов и создания нестационарных моделей по наблюдаемым данным; адаптивной компенсации акустических помех и эхо-сигналов с применением многоканальной и многоскоростной обработки.

Теория

Одномерные функции распределения являются важной статистической характеристикой аналоговых акустических сигналов, которые могут использоваться для синтеза алгоритмов обработки и структур различения речи и шума. Поэтому создание модели функций распределения речи, может быть сформулирована как задача аппроксимации на основе методов оптимизации с ограничениями [1, 12]. А именно, как задача минимизации квадрата нормы

$$\left\| f(\theta) - \hat{f} \right\|^2 \to \min, \tag{1}$$

здесь \hat{f} — вектор значений гистограммы, характеризующей распределение выборок x наблюдаемого сигнала.

Соответственно, компонентами вектора $f(\theta)$ являются вероятности, с которыми значения наблюдаемого сигнала попадают в интервалы гистограммы $[a_{k-1},a_k],\ k=1,\ldots,n$. Значения компонент $f(\theta)$ в k-м интервале определяется в виде

$$f_k(\theta) = \int_{a_{k-1}}^{a_k} P(x, \theta) dx,$$

где $P(x, \theta)$ является аппроксимацией искомой функции плотности вероятности, которая должна подчиняться условиям

$$P(x,\theta) \ge 0, \quad \int_{a_0}^{a_n} P(x,\theta) dx = 1, \tag{2}$$

а θ -является вектором параметров, по которым осуществляется минимизация. В целях регуляризации, на вектор параметров θ могут быть наложены дополнительные ограничения.

Статистические характеристики вектора параметров, представляющего решение задачи (1), существенно зависят от объема используемых выборок.

Установление этой зависимости является необходимым основанием достоверности полученных результатов аппроксимации.

Широкое распространение получил подход к оцениванию статистических характеристик процессов, основанный на параметрическом представлении случайных процессов. Этот подход используется при анализе временных рядов и предполагает наличие некоторой дискретной модели, описываемой соответствующим разностным уравнением [3].

В задачах оптимальной фильтрации процессы часто моделируются с помощью динамических систем, возбуждаемых случайными сигналами с известными характеристиками [4]. В случае акустических сигналов такой подход также вполне обоснован, особенно если учесть вполне детерминированный механизм их формирования. В этом случае входные воздействия можно отнести к регулярным сигналам с неизвестными, возможно изменяющимися параметрами, нежели к случайным процессам. Например, акустический шум вращающейся машины может быть обусловлен в основном гармониками частоты ее вращения.

Акустические и механические резонансы природных и искусственных объектов под воздействием ветра обусловливают звуки на соответствующих резонансных частотах, интенсивность которых зависит от скорости и направления ветра. Характеристики ветра, имеющего на небольших интервалах вполне регулярный характер, в целом подвержены значительным, возможно скачкообразным изменениям. Все это в плане борьбы с шумами и выделения полезных сигналов приводит к задаче идентификации параметров, как самой модели, так и входных воздействий [13, 14].

В широком смысле подавление помех может основываться как на методах адаптивной фильтрации, так и на методах компенсации [6]. В первом случае помеха устраняется с помощью соответствующим образом спроектированных заграждающих фильтров, а во втором — посредством вычитания ее оценки из наблюдаемого сигнала. Однако в последующем, в целях упрощения, подавление будет чаще рассматриваться в узком смысле — как фильтрация помехи.

В качестве моделей сигналов используются дискретные системы, описываемые разностными уравнениями, либо вида авторегрессии — скользящего среднего

$$x_{k} = a_{1}x_{k-1} + a_{2}x_{k-2} + \dots + a_{p}x_{k-p} + u_{k} - b_{1}u_{k-1} - b_{2}u_{k-2} - \dots - b_{q}u_{k-q}$$

$$(3)$$

либо вида системы в переменных состояния

$$y(k+1) = Ay(k) + Bu(k), \quad x(k) = Cy(k) + Du(k),$$
 (4)

где $y \in R^n$ — вектор состояния, $u \in R^m$ — вектор входных воздействий и $x \in R^h$ — вектор выходов. Соответственно матрицы A, B, C и D имеют размеры: $n \times n$, $n \times m$, $h \times n$ и $h \times m$. При этом оценивание спектров сводится к оцениванию параметров модели (3) или (4).

Уравнение (3) является, как это следует из его названия, комбинацией двух моделей, модели авторегрессии, если все коэффициенты $b_k = 0$, и модели скользящего среднего — если все $a_k = 0$.

Для системы (4) изображения вектора переменных состояния и вектора выхода модели записываются в виде

$$Y(z) = (zI - A)^{-1}BU(z), \quad X(z) = (C(zI - A)^{-1}B + D)U(z).$$

Соответственно, спектры выходов описываются выражением

$$X(\omega) = \left| C \left(e^{j\omega} I - A \right)^{-1} B + D \right| \cdot \left| U(e^{j\omega}) \right|. \tag{5}$$

Обычно модель, описываемая выражениями (4-5), зависит только от состояния системы, при этом x(k) = Cy(k), а матрица D = 0.

Задача идентификации модели (4) может заключаться не только в оценивании матриц A, B и C, но и в оценивании состояния системы. При этом иногда используется прием, основанный на замене модели в переменных состояниях эквивалентной моделью авторегрессии [7].

Задача идентификации во многих случаях — это задача минимизации некоторого функционала потерь, характеризующего отклонение результата аппроксимации $\hat{x}(k)$ от наблюдаемых данных $\overline{x}(k)$, $k=1,\ldots,N$:

$$\rho(\hat{\mathbf{x}}, \overline{\mathbf{x}}) \rightarrow min$$
.

Здесь $\hat{\mathbf{x}} = (\hat{x}(1) \ \hat{x}(2) \ \cdots \ \hat{x}(N))^T$ и $\overline{\mathbf{x}} = (\overline{x}(1) \ \overline{x}(2) \ \cdots \ \overline{x}(N))^T$ – векторы соответственно результатов аппроксимации и наблюдаемых данных. Уравнение (2) или (3) выступает при этом в качестве ограничения задачи. Возможны и другие ограничения, обусловленные, например, условиями устойчивости модели.

Указанный функционал потерь при решении некорректных задач дополняется регуляризирующим функционалом $\Omega(\hat{x}(t))$, который областью своего определения может иметь множество функций как дискретного, так и непрерывного времени. При этом задача идентификации принимает вид

$$\rho(\hat{\mathbf{x}}, \overline{\mathbf{x}}) + \alpha \Omega(\hat{x}(t)) \rightarrow min$$
.

Во многих случаях в качестве функционала потерь используется норма, характеризующая расстояние между наблюдаемыми данными и значениями функции, полученной в результате идентификации:

$$\rho(\hat{\mathbf{x}}, \overline{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2} \|\hat{\mathbf{x}} - \overline{\mathbf{x}}\|^2.$$

В случае гильбертова пространства норма представляется скалярным произведением, а функционал потерь $\rho(\hat{\mathbf{x}}, \overline{\mathbf{x}}) = \frac{1}{2} \left\langle \hat{\mathbf{x}} - \overline{\mathbf{x}}, \hat{\mathbf{x}} - \overline{\mathbf{x}} \right\rangle$ является квадратичной функцией оценки сигнала по наблюдаемым данным.

Если ограничения также имеют вид квадратичных или линейных функций, то имеет место задача квадратичного программирования.

Вектор $\hat{\mathbf{x}}$ может быть образован выборками функции $\hat{x}(t)$ непрерывного времени, представленной в виде линейной или нелинейной регрессии. А именно, в виде функции $\hat{x}(t) = g(t, \mathbf{a})$, зависящей от вектора \mathbf{a} параметров оптимизации. В случае линейной регрессии эта функция принимает вид $\hat{x}(t) = \mathbf{\phi}^T(t)\mathbf{a}$, где

Вектор $\hat{\mathbf{x}}$ можно при этом записать в виде $\hat{\mathbf{x}} = \Phi \mathbf{a}$, где строками матрицы Φ являются значения транспонированных векторных функций $\mathbf{\phi}(k)$ в точках наблюдения:

$$\Phi = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\varphi}^{T}(1) \\ \boldsymbol{\varphi}^{T}(2) \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varphi}^{T}(N) \end{pmatrix}.$$

В случае нелинейной регрессии вектор

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} g(1, \mathbf{a}) \\ g(2, \mathbf{a}) \\ \vdots \\ g(N, \mathbf{a}) \end{pmatrix} \equiv \mathbf{g}(\mathbf{a}).$$

Тогда задачу минимизации функции потерь в случае нелинейной регрессии можно записать в виде

$$\frac{1}{2} \|\mathbf{g}(\mathbf{a}) - \overline{\mathbf{x}}\|^2 \to \min, \tag{6}$$

а в случае линейной регрессии – в виде

$$\frac{1}{2} \left\| \Phi \mathbf{a} - \overline{\mathbf{x}} \right\|^2 \to \min. \tag{7}$$

Как известно [7, 8], математическое ожидание функции (6) или (7) достигает своего наименьшего значения, если вектор $\mathbf{g}(\mathbf{a})$ или $\Phi \mathbf{a}$ совпадает с условным математическим ожиданием вектора \mathbf{x} , $E\{\mathbf{x}|\overline{\mathbf{x}}\}$, рассматриваемым как функция наблюдаемых данных $\overline{\mathbf{x}}$. При этом величина потерь совпадает с условной дисперсией, если только отбросить коэффициент 1/2.

Полученный в результате минимизации функции потерь вектор коэффициентов регрессии $\hat{\mathbf{a}}$ определяет оптимальное решение $\hat{x}^*(t) = \boldsymbol{\varphi}^{\scriptscriptstyle T}(t)\hat{\mathbf{a}}$ как функцию непрерывного времени. Это позволяет при необходимости наложить на ее поведение между выборками данных дополнительные ограничения, с помощью, например, регуляризирующего функционала.

Существуют и другие способы оценки параметров модели, например, способ, основанный на согласовании корреляционных функций. В частности, такого рода методы используются при сжатии речи и вычислении спектров. Используются методы, основанные на собственных значениях и сингулярных разложениях ковариационных матриц, имеющих тёплицеву структуру [9, 10, 11].

Достижимая точность приближения наблюдаемых данных функцией регрессии зависит в значительной степени от размеров области ее определения. С увеличение размеров области, в пределах которой наблюдаемые данные не

стремятся к нулю, точность снижается. Устранить этот недостаток можно, воспользовавшись методом локальной аппроксимации [12, 13]. Приближение наблюдаемых данных в этом случае обеспечивается последовательностью функций регрессии, каждая из которых задана на своем конечном интервале. Одновременно, это позволяет аппроксимировать нестационарные сигналы и системы.

Вопрос сопряжения отдельных функций регрессии можно решить, если дополнить ограничения, представленные в задаче минимизации, условиями согласования значений этих функций и, возможно, значений их производных в узлах сопряжения.

Поставим задачу определения параметров в наблюдаемом сигнале x(t), являющимся аддитивной суммой оцениваемого сигнала s(t) и акустической помехи $\eta(t)$, которая также считается комплексной функцией. В дискретной форме этот сигнал имеет вид

$$x(k) = s(k) + \eta(k) = \sum_{n=1}^{p} a_n e^{j\left(n\frac{\omega_1}{f_0}k + \varphi_n\right)} + \eta(k).$$
 (8)

Здесь f_0 — частота дискретизации.

Задачу определения параметров функции (8) можно решить также методом максимального правдоподобия, применение которого осложнено недостаточной надежностью априорной информации о распределениях помех [12]. Метод максимального правдоподобия, как известно, в случае независимых одинаково распределенных гауссовых величин эквивалентен методу наименьших квадратов. В этом случае параметры функции (8) можно, в принципе, найти методами нелинейного программирования. А именно, в случае функции (8), посредством решения задачи минимизации:

$$\{\hat{\omega}_{1}, \hat{\mathbf{a}}, \hat{\mathbf{\phi}}\} = arg \min_{\{\omega_{1}, \mathbf{a}, \mathbf{\phi}\}} ||s - x||^{2}.$$

Если ввести векторы выборок выделяемого $\mathbf{s} = (s(1) \ s(2) \ \cdots \ s(N))^T$ и наблюдаемого $\mathbf{x} = (x(1) \ x(2) \ \cdots \ x(N))^T$ сигнала, векторы $\mathbf{a} = (a_1, \cdots, a_p)^T$ и $\mathbf{\phi} = (\phi_1, \cdots, \phi_p)^T$, то норму можно записать в виде

$$||s-x||^2 = \langle s-x, s-x \rangle = \sum_{k=1}^N \left| \sum_{n=1}^p a_n e^{j\left(n\frac{\omega_1}{f_0}k + \varphi_n\right)} - x(k) \right|^2.$$

Если, к тому же, помеха является коррелированной, с корреляционной функцией R(k), то квадрат нормы в задаче минимизации принимает [16] вид

$$||s-x||^2 = \langle s-x, s-x \rangle = (\mathbf{s}-\mathbf{x})^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{s}-\mathbf{x})^*.$$

Как задачу нелинейной регрессии можно рассматривать метод максимального правдоподобия, если только принять, что оцениваемый сигнал имеет вид многочлена $\mathbf{a}^{T} \varphi(t)$ по системе линейно независимых функций. Это приводит к параметрической задаче максимизации функции правдоподобия $P(y_a^b|\mathbf{a})$,

решение которой по наблюдаемым на интервале [a,b] данным y_a^b записывается в виде:

$$\hat{\mathbf{a}} = \arg\sup P(y_a^b | \mathbf{a}). \tag{9}$$

Метод максимального правдоподобия может быть использован при определенных условиях, если наблюдаемые данные представляют собой последовательность независимых случайных величин с плотностью вероятности $p(y_k|\mathbf{a})$.

При этом функция правдоподобия имеет вид $P(y_a^b|\mathbf{a}) = \prod_{k=1}^n p(y_k|\mathbf{a})$. Аналогично, если известны одномерная плотность вероятности $p(y_k|\mathbf{a})$ и условная плотность вероятности $p(y_{k+1}|y_k,\mathbf{a})$, то функция правдоподобия описывается выражением [12, 20]

$$P(y_a^b|\mathbf{a}) = p(y_1|\mathbf{a}) \prod_{k=1}^{n-1} p(y_{k+1}|y_k,\mathbf{a}).$$

В связи с рассмотренными выше методами параметрической оптимизации и локальной аппроксимации, следует отметить, что по своему содержанию они практически эквивалентны проекционным методам решения операторных уравнений, проекционным и интерполяционным методам анализа и расчета систем [12, 13, 20].

Результаты экспериментов

В свободном пространстве эхо-сигналы образуются в результате отражений, обусловленных особенностями рельефа местности, расположения строений и крупногабаритных объектов. Значительные размеры территории приводят к большим задержкам распространения эхо-сигналов и снижению разборчивости речи. Кроме того, в акустическом поле с множеством различных каналов эха часто возникают зоны молчания, что, в частности, необходимо учитывать при проектировании систем оповещения. Импульсные функции в каналах распространения эха можно при этом принять за некоторые постоянные коэффициенты передачи.

С учетом этого модель множественных отражений, принимает вид

$$y(t) = \sum_{k=1}^{r} a_k u(t - \tau_k) = \sum_{k=1}^{r} a_k u(t - D_k T).$$

Задача при этом заключается в определении параметров затухания $a_{_k}$ и запаздывания $\tau_{_k} = D_{_k}T$ для r каналов эхо-сигналов.

По условию, сигнал u(t), отражения которого формируют эхо-сигналы y(t), является известным и нестационарным. Это позволяет применить при оценивании параметров a_k и D_k технику корреляционного анализа [2].

Таким образом, алгоритм обработки сигнала для компенсации отражений эхо-сигналов y(t-D) и для подавления акустических шумовых помех $\gamma(t)$ может быть описан в следующем виде:

– на вход микрофона поступает сигнал

$$x(t) = u_0(t) + y(t-D) + \gamma(t);$$

- в блоке вычисления долговременных параметров вычисляются D_{k} и a_{k} , методом корреляционно-экстремального оценивания [18], в виде

$$R_{u_0,x} = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^{N} x(n-D) u_0(n), \ \hat{a}_k = \frac{R_{u_0,x} \hat{D}_k T}{R_{u_0,u_0}(0)},$$

при $\hat{a}_k \ge \beta$, $D = \hat{D}_k$, где β – пороговый уровень;

- вычисляется опорный сигнал для адаптивного фильтра L-го порядка $\hat{y}_{_k}(n) = \hat{a}_{_k} u_{_0}(n \hat{D}_{_k} + L/\ 2) \ .$
- выходной сигнал сумматора $x(n) = u_0(n) + e(n) + \gamma(n)$, где $e(n) = y(t-D) \hat{y}(t-D)$;
 - на выходе шумоподавляющего устройства

$$x(n) = u_0(n) + e(n) + B\gamma(n), B < 0.01, e(n) < 0.01,$$
 тогда $x(n) \approx u_0(n)$.

Синтез алгоритма шумоподавляющего устройства осуществлен с применением таких статистических характеристик сигналов, как аппроксимация функции распределения плотности вероятностей речевых сигналов [15] и аппроксимация функции распределения внешних шумовых акустических помех [14, 17, 19], полученных, например, методами оптимизации с ограничениями (1), (2).

На рис.1. показана структура абонентского устройства в соответствии с алгоритмом обработки, представленным выше.

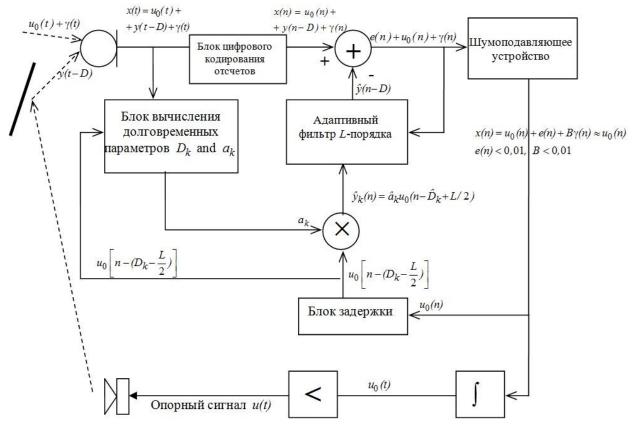


Рис. 1. Абонентское устройство системы громкоговорящей связи с каналом компенсации эхо-сигналов и шумоподавляющим устройством

В соответствии с рис. 1 в абонентском устройстве имеются блок вычисления долговременных параметров эха: a_k и D_k , блок формирования опорного сигнала адаптивного фильтра [18], блок компенсации эхо-сигналов, включающий адаптивный фильтр и сумматор, а также шумоподавляющее устройство, реализующее алгоритм адаптивного подавления акустических помех с формантным распределением полос режекции [17].

Выводы

Таким образом, проблема обработки сигналов в телекоммуникационных системах передачи речи обуславливается недостаточностью достоверной априорной информации о характеристиках наблюдаемых сигналов. Задачи оценивания параметров моделей решается различными методами в зависимости от ограничений на статистические характеристики наблюдаемых сигналов. Наиболее перспективными методами для данных условий можно считать, это метод минимизации функции потерь, метод максимального правдоподобия, метод локальной аппроксимации, в этом случае приближение наблюдаемых данных обеспечивается последовательностью функций регрессии.

Моделирование внешних помех эхо-сигналов можно рассматривать как средство преодоления априорной неопределенности, основанное на извлечении соответствующей информации из результатов наблюдений [18].

Литература

- 1. Вапник В. Н., Стефанюк А. Р. Непараметрические методы восстановления плотности вероятности // Автоматика и телемеханика. 1978. № 8. С. 38–52.
- 2. Kropotov Y. A., Belov A. A. Method of correlation-extreme parameter estimation of acoustic echoes in telecommunication audio exchange systems Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2015. C. 7147108.
- 3. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. М.: Мир, 1980. 536 с.
- 4. Пугачев В. С., Синицын И. Н. Теория стохастических систем. М.: Логос, 2004.-1000 с.
- 5. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. М.: Наука, 1991.-432 с.
- 6. Hansler E., Schmidt G. Topics in acoustic echo and noise control: Selected methods for the cancelation of acoustic echoes, the reduction of background noise, and speech processing. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006. 642 p.
- 7. Пугачев В. С., Синицын И. Н. Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация. М.: Наука, 1990. 632 с.
- 8. Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач метода наименьших квадратов. М.: Наука, 1986. 232 с.
- 9. Полак Э. Численные методы оптимизации. Единый подход. М.: Мир, 1974. 376 с.

- 10. Найт У. С., Придэм Р. Г., Кей С. М. Цифровая обработка сигналов в гидролокационных системах // Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. 1981. Т. 69. № 11. С. 84–155.
- 11. Björck Åke. Numerical methods for least squares problems. Philadelphia: SIAM, 1996. 408 p.
- 12. Катковник В. Я. Методы алгоритмической оптимизации. Методы исследования нелинейных систем автоматического управления. М.: Наука, 1975. 448 с.
- 13. Белов А. А., Кропотов Ю. А. Исследование вопросов сжатия и поиска картографической информации методом вейвлет-преобразований в экологической геоинформационной системе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 12. С. 9-14.
- 14. Кропотов Ю. А., Быков А. А. Алгоритм подавления акустических шумов и сосредоточенных помех с формантным распределением полос режекции // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 60-65.
- 15. Быков А. А., Кропотов Ю. А. Модель закона распределения вероятности амплитуд сигналов в базисе экспоненциальных функций системы // Проектирование и технология электронных средств. 2007. № 2. С. 30-34.
- 16. Кропотов Ю. А. Алгоритм определения параметров экспоненциальной аппроксимации закона распределения вероятности амплитуд речевого сигнала // Радиотехника. 2007. № 6. С. 44-47.
- 17. Кропотов Ю. А., Ермолаев В. А. Устройство адаптивного подавления акустических шумов и акустических сосредоточенных помех // Патент России № 2502185. 2013. Бюл. № 35.
- 18. Кропотов Ю. А., Парамонов А. А. Методы проектирования алгоритмов обработки информации телекоммуникационных систем аудиообмена: монография. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. –226 с.
- 19. Кропотов Ю. А. Алгоритм вычисления сигнала управления каналом режекции многоканальной системы передачи акустических сигналов // Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 57-60.
- 20. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. М.: Наука, 1979. 448 с.

References

- 1. Vapnik V. N., Stefanyuk A. R. Neparametricheskie metody vosstanovleniya plotnosti veroyatnosti [Nonparametric methods for recovering the probability density]. *Automation and Remote Control*, 1978, no. 8, pp. 38-52 (in Russian).
- 2. Kropotov Y. A., Belov A. A. Method of correlation-extreme parameter estimation of acoustic echoes in telecommunication audio exchange systems. *Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2015*, 2015, p. 7147108.
- 3. Brillindzher D. *Vremennye ryady. Obrabotka dannyh i teoriya* [Time series. Data processing and theory]. Moscow, Mir Publ., 1980. 536 p. (in Russian).

- 4. Pugachev V. S., Sinicyn I. N. *Teoriya stohasticheskih system* [Theory of stochastic systems]. Moscow, Logos Publ., 2004. 1000 p. (in Russian).
- 5. L'yung L. *Identifikaciya sistem. Teoriya dlya pol'zovatelya* [Identification of systems. Theory for the user]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 432 p. (in Russian).
- 6. Hansler E., Schmidt G. *Topics in acoustic echo and noise control: Selected methods for the cancelation of acoustic echoes, the reduction of background noise, and speech processing*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2006. 642 p.
- 7. Pugachev V. S., Sinicyn I. N. *Stohasticheskie differencial'nye sistemy*. *Analiz i fil'traciya* [Stochastic differential systems. Analysis and Filtering]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 632 p. (in Russian).
- 8. Louson C., Henson R. *Chislennoe reshenie zadach metoda naimen'shih kvadratov* [Numerical solution of problems in the method of least squares]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 232 p. (in Russian).
- 9. Polak E. H. *Chislennye metody optimizacii. Edinyj podhod* [Numerical optimization methods. Single approach]. Moscow, Mir Publ., 1974. 376 p. (in Russian).
- 10. Najt U. S., Pridehm R. G., Kej S. M. Cifrovaya obrabotka signalov v gidrolokacionnyh sistemah [Digital signal processing in sonar systems]. *Trudy instituta inzhenerov po ehlektrotekhnike i radioehlektronike*, 1981, vol. 69, no 11, pp. 84-155 (in Russian).
- 11. Björck Åke. *Numerical methods for least squares problems*. Philadelphia: SIAM, 1996. 408 p.
- 12. Katkovnik V. Y. *Metody algoritmicheskoj optimizacii* [Methods of algorithmic optimization]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 448 p. (in Russian).
- 13. Belov A. A., Kropotov Y. A. Issledovanie voprosov szhatija i poiska kartograficheskoj informacii metodom vejvlet-preobrazovanij v jekologicheskoj geoinformacionnoj sisteme [Research of the problems of compression and searching for cartographic information by the method of wavelet transformations in the ecological geoinformation system]. *Herald of computer and information technologies*, 2008, no. 12, pp. 9-14 (in Russian).
- 14. Kropotov Y. A., Bykov A. A Algoritm podavlenija akusticheskih shumov i sosredotochennyh pomeh s formantnym raspredeleniem polos rezhekcii [Algorithm for suppressing acoustic noise and concentrated noise with a formant distribution of the rejection bands]. *Questions of radio-electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 60-65 (in Russian).
- 15. Bykov A. A., Kropotov Y. A. Model' zakona raspredelenija verojatnosti amplitud signalov v bazise jeksponencial'nyh funkcij sistemy [Algorithm for determining the parameters of the exponential approximation of the probability distribution law for the amplitudes of a speech signal]. *Design and technology of electronic means*, 2007, no. 2, pp. 30-34 (in Russian).
- 16. Kropotov Y. A. Algoritm opredelenija parametrov jeksponencial'noj approksimacii zakona raspredelenija verojatnosti amplitud rechevogo signala [Algorithm for determining the parameters of the exponential approximation of the probability distribution law for the amplitudes of a speech signal]. *Radiotehnika*, 2007, no. 6, pp. 44-47 (in Russian).

URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/01-Kropotov.pdf

- 17. Kropotov Y. A., Ermolaev V. A. *Ustrojstvo adaptivnogo podavleniya akusticheskih shumov i akusticheskih sosredotochennyh pomekh* [Device for adaptive suppression of acoustic noise and acoustic concentrated interference]. Patent Russia, no. 2502185, 2013 (in Russian).
- 18. Kropotov Y. A., Paramonov A. A. *Metody proektirovaniya algoritmov obrabotki informacii telekommunikacionnyh sistem audioobmena: monographiya* [Methods of designing information processing algorithms for telecommunication audio exchange systems: monograph]. Moscow-Berlin, Direct-Media, 2015. 226 p (in Russian).
- 19. Kropotov Y. A. Algoritm vychislenija signala upravlenija kanalom rezhekcii mnogokanal'noj sistemy peredachi akusticheskih signalov [Algorithm for calculating the channel control signal for rejection of a multichannel acoustic transmission system]. *Questions of radio-electronics*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 57-60 (in Russian).
- 20. Vapnik V. N., Stefanyuk A. R. *Vosstanovlenie zavisimostej po ehmpiricheskim dannym* [Recovery of dependencies on empirical data]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 448 p. (in Russian).

Статья поступила 29 мая 2018 г.

Информация об авторах

Кропотов Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные и информационно-управляющие системы. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Белов Алексей Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: телекоммуникационные системы мониторинга, обработка данных, методы вейвлет-преобразования. E-mail: aleks.murom@mail.ru

Проскуряков Александр Юрьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: прогнозирование данных, нейронные сети, обработка и предсказание данных в экономических системах. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Холкина Наталья Евгеньевна — старший преподаватель кафедры «Электроники и вычислительной техники». Муромский институт (филиал) «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевич Столетовых». Область научных интересов: системы обработки информации, системы телекоммуникаций аудиообмена. E-mail: kafeivt@yandex.ru

Адрес: Россия, 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.

Evaluation of Signal Models and Acoustic Noise in Telecommunications of Audio Exchange

Y. A. Kropotov, A. A. Belov, A. Y. Proskuryakov, N. E. Holkina

Statement of the problem. The problem of signal processing in telecommunication systems of voice transmission is caused by the lack of reliable a priori information about the characteristics of the observed signals. Therefore, the paper considers methods for estimating signal models in telecommunications systems for audio exchange. **Object of research** are methods for estimating the statistical characteristics of analog signals, such as the one-dimensional probability density of signals and interference in telecommunications, methods for determining the parameters of the observed signals, which are the additive sum of the estimated signal and acoustic interference. The purpose of the work is the modeling of signals and acoustic noise, the development of a signal processing structure based on estimates of the parameters of the process model and the acoustic noise model. Development of noise-canceling device structure in telecommunication systems of audio exchange in conditions of acoustic noise. Used methods: Methods used: the work deals with models and methods of signal estimation in the transmission of information messages in telecommunication systems of audio exchange. Methods for creating a one-dimensional probability distribution function for speech probabilities and acoustic noise are considered. The considered problem of creating a model of the distribution function is formulated as an approximation problem, based on optimization methods with constraints that can be used to extract useful signals against acoustic noise interference. Suppression of acoustic noise is based on adaptive filtering and adaptive compensation methods. The scientific novelty of the work consists in estimating and approximating one-dimensional distribution functions and correlation functions from limited data sets and, on this basis, forming the basis of a priori information and allocating the intervals of stationarity of the observed signals. Based on the segmentation of non-stationary signals, their smoothing and local approximation are carried out. **Results.** The approach to estimation of parameters of the observed process based on parametric representation of acoustic signals and components of noise components is offered. **Practical value.** The model describes the echo signals and the structure of subscriber devices in operational command telecommunication systems.

Key words: methods of signal estimation, voice messages, telecommunication systems, onedimensional distribution functions, random processes, echo signals.

Information about Authors

Yurij Anatolievich Kropotov – Dr. of Engineering Sciences, Full Professor. Head of the Department «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication information and control systems. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Aleksey Anatolievich Belov – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: telecommunication system monitoring, data processing, wavelet transform techniques. E-mail: aleks.murom@mail.ru

Aleksandr Yurievich Proskuryakov – Ph.D. of Engineering Sciences, associate professor of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: data prediction, neural networks, data processing and prediction in economic systems. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Nataliya Evgenievna Holkina – senior lecturer of chair «Electronics and Computer Science». Murom institute (branch) of the «Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs». Field of research: information processing systems, audio communication telecommunications systems. E-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Address: Russia, 602264, Murom, st. Orlovskaya, h. 23.