Кропотов Ю.А., Холкина Н.Е.
Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
e-mail: kaf-eivt@yandex.ru

Оценивание нестационарных сигналов в системах телекоммуникационного аудиообмена

При разработке алгоритмов обработки и сжатия сигналов для передачи по телекоммуникационным каналам и в системах аудиообмена возникает задача идентификации параметров нестационарных акустических сигналов.

В информационных системах интервалы стационарности процесса могут зависеть от характера передаваемых данных таким образом, что статистические характеристики процесса будут синхронизированы с данными. Например, акустический речевой сигнал, будет стационарным на интервалах, обусловленных передаваемой информацией.

Оценки математического ожидания, дисперсии и корреляционных функций используются также в задачах обнаружения изменений в свойствах сигналов и динамических систем. В частности, они используются при сегментации акустического речевого сигнала. В подобных задачах можно принять, что по характеру нестационарности сигнал относится или к нестационарным процессам с переменным во времени средним значением или к процессм с переменной во времени дисперсией. При этом необходимые оценки можно получить методом наименьших квадратов [1,2].

Детерминированные функции $a(t)$ и $b(t)$ нестационарного процесса $y(t) = a(t) + b(t)u(t)$ по отдельности находятся методом наименьших квадратов как функции линейной регрессии

$$a(t) = \sum_{k=1}^{n} \alpha_k \varphi_k(t) = \boldsymbol{\varphi}^T(t)\boldsymbol{\alpha} \text{ и } b^2(t) = \sum_{k=1}^{n} \beta_k \varphi_k(t) = \boldsymbol{\varphi}^T(t)\boldsymbol{\beta}.$$

Здесь введены векторы $\boldsymbol{\varphi}^T(t) = \begin{pmatrix} \varphi_1(t) & \cdots & \varphi_n(t) \end{pmatrix}$, $\boldsymbol{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \cdots & \alpha_n \end{pmatrix}^T$ и $\boldsymbol{\beta} = \begin{pmatrix} \beta_1 & \cdots & \beta_n \end{pmatrix}^T$. Вектор коэффициентов $\boldsymbol{\alpha}$ находится, при условии, что функция $b(t)$ известна, в результате минимизации функции потерь

$$Q(\boldsymbol{\alpha}) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N} \frac{1}{b^2(t_k)} \left(y(t_k) - \boldsymbol{\varphi}^T(t_k)\boldsymbol{\alpha} \right)^2 .$$

Если ввести матрицу $\Phi = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\varphi}(t_0) & \boldsymbol{\varphi}(t_1) & \cdots & \boldsymbol{\varphi}(t_N) \end{pmatrix}$, вектор наблюдаемых данных $\mathbf{y} = \begin{pmatrix} y(t_0) & y(t_1) & \cdots & y(t_N) \end{pmatrix}^T$ и диагональную матрицу $P = diag\begin{pmatrix} \frac{1}{b^2(t_0)} & \frac{1}{b^2(t_1)} & \cdots & \frac{1}{b^2(t_N)} \end{pmatrix}$, то функцию потерь можно записать в виде

$$Q(\boldsymbol{\alpha}) = \frac{1}{2} \left(\mathbf{y} - \Phi^T \boldsymbol{\alpha} \right)^T P \left(\mathbf{y} - \Phi^T \boldsymbol{\alpha} \right).$$

Тогда вектор коэффициентов, обеспечивающий минимум этой функции, находится из выражения

$$\boldsymbol{\alpha} = \left(\Phi P \Phi^T \right)^{-1} \Phi P \mathbf{y} .$$

Аналогично, если известно математическое ожидание $a(t)$, то вектор коэффициентов $\boldsymbol{\beta}$ функции $b^2(t)$ находится из условия минимума функции

$$Q(\boldsymbol{\alpha}) = \frac{1}{2}\sum_{k=0}^{N}\left(\frac{\left(y(t_k) - a(t_k)\right)^2}{\sigma_u^2} - \boldsymbol{\varphi}^T(t_k)\boldsymbol{\beta}\right)^2 . \qquad (1)$$

Для распространения этого подхода на случай, когда неизвестными являются обе функции, $a(t)$ и $b(t)$, предлагается использовать метод последовательных приближений, основанный на поочередном, до получения заданной точности, вычислении указанных функций. Там же рассматриваются рекуррентные алгоритмы вычисления векторов коэффициентов $\boldsymbol{\alpha}$ и $\boldsymbol{\beta}$, а также статистические характеристики полученных решений.

Поскольку полученные таким способом решения имеют силу только на ограниченных интервалах времени, задачу можно дополнить условиями сопряжения отдельных локальных решений, например, условиями гладкого сопряжения [3]. При решении этой задачи можно воспользоваться рекуррентным алгоритмом, обеспечивающим обновление коэффициентов регрессии по мере смещения скользящего окна конечного набора данных. В принципе, такой подход более соответствуют задаче обработки нестационарных сигналов, чем алгоритм обновления по мере увеличения размера выборки.

Однако, решение задачи (1) не гарантирует, что функция $b^2(t) = \boldsymbol{\varphi}^T(t)\boldsymbol{\beta}$ будет неотрицательной на интервале ее определения и, соответственно, что такой способ позволяет оценить функцию $b(t)$. Поэтому постановку задачу нахождения функции $b(t)$ необходимо видоизменить. Например, сформулировать ее как задачу минимизации целевой функции (1) при дополнительном ограничении $\boldsymbol{\varphi}^T(t)\boldsymbol{\beta} \geq 0$.

Разработанные алгоритмы оценивания характеристик процессов могут, в частности, использоваться при контроле параметров технических средств по излучаемым ими акустическим сигналам. Задачи оценивания параметров сигналов и идентификации систем с переменными медленно изменяющимися параметрами обеспечивают, соответственно, сегментацию сигналов, их классификацию по уровню активности и возможности адаптации, определению уровня подавляемых или компенсируемых помех.

Литература

1. Шалыгин А.С., Палагин Ю.И. Прикладные методы статистического моделирования. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1986. – 320 с.

2. Ермолаев В.А., Карасёв О.Е., Кропотов, Ю.А. Метод интерполяционной фильтрации в задачах обработки речевых сигналов во временной области // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. №7. С. 12 – 17.

3. Ermolaev V.A., Kropotov Y.A. Algorithms for processing acoustic signals in telecommunication systems by local parametric methods of analysis. 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015). Proceedings. – Omsk: Omsk State Technical University. Russia, Omsk, May 21–23, 2015. IEEE Catalog Number: CFP15794-CDR.