

## ПРИСОЕДИНЕННЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ПРЕДСКАЗАНИЯ НЕГАУССОВЫХ СИГНАЛОВ И ПОМЕХ

Тихонов В.А., Кудрявцева Н.В.

Харьковский национальный университет радиозлектроники  
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14 каф. радиозлектронных систем,

E-mail: [res@kture.kharkov.ua](mailto:res@kture.kharkov.ua); факс (057) 702-11-13

The paper proposes an associated combined linear prediction models of stationary non-Gaussian process. Possible structures of the proposed models are described and expressions for parameters calculation of such models are derived.

### Введение

В теории негауссовых процессов существует противоречие между необходимостью учета негауссовых характеристик процессов для оптимальной обработки и сложностью их описания многомерными статистическими характеристиками. Поэтому необходимы модели негауссовых процессов, позволяющие синтезировать эффективные, достаточно простые устройства обработки.

Значительный практический интерес представляют известные классические модели линейного предсказания АР и СС, которые учитывают статистические связи первого порядка. Однако эти модели не учитывают статистические характеристики высших порядков негауссовых случайных процессов, так как их параметры рассчитываются по корреляционным функциям. Для описания негауссовых процессов используются обобщенные модели линейного предсказания высших рангов, параметры которых рассчитываются по моментным или кумулянтным функциям. В работе предложены новые обобщенные модели линейного предсказания негауссовых процессов. Уравнения, описывающие их, объединяют одновременно классические модели и обобщенные модели.

**Сущность.** Обобщенные модели линейного предсказания описываются набором независимых разностных уравнений, каждое из которых учитывает отдельно статистические связи разных порядков. Ранг модели равен порядку моментных и кумулянтных функций, по которым рассчитываются параметры модели. Предложенные присоединенные модели включают в себя классическую и обобщенную модели. В зависимости от свойств негауссова процесса эти модели можно комбинировать. Обобщенная модель строится для ошибок предсказания классической модели линейного предсказания. Для широкополосных ошибок предсказания рационально использовать модель ОСС, а для узкополосных ошибок предсказания – модель ОАР.

Присоединенная модель АР-ОАР включает в себя классическую модель АР второго ранга и модели ОАР ошибок предсказания

$$x[t] = \sum_{i=1}^{p_2} \Phi_2[i]x[t-i] + \sum_{i=1}^{p_3} \Phi_3[i]a_2[t-i] + \dots + \sum_{i=1}^{p_r} \Phi_r[i]a_{r-1}[t-i] + a_r[t],$$

где  $\Phi_k[i]$  — коэффициенты АР, при  $k=2$  и ОАР, при  $k>2$  соответственно,  $a_k[t]$  — ошибки

предсказания модели АР-ОАР,  $p_k$  — порядки модели АР-ОАР. Если случайный процесс и ошибки предсказания являются негауссовыми широкополосными процессами, то рационально пользоваться моделью СС-ОСС. Присоединенная модель включает в себя классическую модель СС и модели ОСС ошибок предсказания

$$x[t] = -\sum_{i=1}^{q_2} Q_2[i]a_2[t-i] - \sum_{i=1}^{q_3} Q_3[i]a_3[t-i] - \dots - \sum_{i=1}^{q_r} Q_r[i]a_r[t-i] + a_r[t],$$

где  $Q_k[i]$  — коэффициенты СС, при  $k=2$  и ОСС, при  $k>2$  соответственно,  $q_k$  — порядки модели СС-ОСС. В зависимости от спектральных характеристик негауссовых процессов и ошибок предсказания можно использовать и другие комбинации моделей линейного предсказания — обобщенного линейного предсказания. Например, присоединенная ком-

бинированная модель AP-ОСС описывается AP второго ранга и ОСС некоторого ранга. Для модели ОСС третьего ранга разностное уравнение AP-ОСС имеет вид

$$x[t] = \sum_{i=1}^{p_2} \Phi_2^l[i] x[t-i] - \sum_{i=1}^{q_3} Q_3^l[i] a_3^l[t-i] + a_3^l[t]. \quad (1)$$

Параметрический спектр процесса, описываемого уравнением (1), представляется произведением AP оценки спектральной плотности и спектром третьего порядка модели ОСС третьего ранга. Используя AP параметрическую оценку спектральной плотности и параметрическую оценку спектра третьего порядка модели ОСС, выражение для параметрического спектра процесса AP-ОСС можно представить в виде

$$P_3(\omega_1, \omega_2) = m \frac{\sum_{i=0}^{q_3} Q_3^l[i] e^{-j\omega_1 T i} \sum_{i=0}^{q_3} Q_3^l[i] e^{-j\omega_2 T i} \sum_{i=0}^{q_3} Q_3^l[i] e^{j(\omega_1 + \omega_2) T i}}{3a_3^l \left| \sum_{k=0}^{p_2} \Phi_2^l[k] e^{-j\omega_1 T k} \right|^2}$$

Присоединенная комбинированная модель СС-ОАР описывается СС второго ранга и ОАР некоторого ранга. Полагая, что модель ОАР имеет ранг равный трем, разностное уравнение СС-ОАР можно записать в виде

$$x[t] = -\sum_{i=1}^{q_2} Q_2^l[i] a_2^l[t-i] + \sum_{i=1}^{p_3} \Phi_3^l[i] a_2^l[t-i] + a_3^l[t]. \quad (2)$$

Параметрический спектр процесса, описываемого уравнением (2), представляется произведением спектральной плотности модели СС и спектром третьего порядка модели ОАР третьего ранга

$$P_3(\omega_1, \omega_2) = m \frac{\left| \sum_{i=0}^{q_2} Q_2^l[i] e^{-j\omega_1 T i} \right|^2}{3a_3^l \sum_{k=0}^{p_3} \Phi_3^l[k] e^{-j\omega_1 T k} \sum_{k=0}^{p_3} \Phi_3^l[k] e^{-j\omega_2 T k} \sum_{k=0}^{p_3} \Phi_3^l[k] e^{j(\omega_1 + \omega_2) T k}}$$

Для получения выражений для расчета параметров моделей необходимо использовать критерии оптимальности моделей. Они сводятся к условию статистической независимости ошибок предсказания. Так, ошибки предсказания модели  $r$ -го ранга должны удовлетворять соотношению

$$E\{a_r^{l,k,\dots,u}[t] a_r^{l,k,\dots,u}[t-j] \dots a_r^{l,k,\dots,u}[t-u]\} = 0, \quad j, k, \dots, u > 0.$$

### Выводы

Ошибки предсказания моделей AP и СС негауссова процесса могут содержать статистические связи некоторых порядков. Поэтому у таких процессов моментные функции ошибок предсказания являются значимыми и содержат полезную информацию. Используя процедуру построения присоединенных комбинированных и некомбинированных моделей линейного предсказания, можно получить новые обобщенные модели линейного предсказания. Предложенные модели могут быть полезны для моделирования негауссовых сигналов и помех при решении различных задач статистической радиотехники.