УДК 621.396.982.2

АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОСТОЯННЫЙ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ АДДИТИВНЫХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ НЕГАУССОВЫХ ПОМЕХ

д-р техн. наук, проф. В.В. ПАЛАГИН,
канд. техн. наук, доц. А.В. ИВЧЕНКО, Д.А. ВЕДЕРНИКОВ
(Черкасский государственный технологический университет, Украина)

Важной задачей статистической обработки сигналов является определение оценок информативных параметров сигналов, принимаемых на фоне помех. Для решения данной задачи применяются классические методы оценивания, а именно метод моментов, метод максимального правдоподобия и др. [1], которые в общем случае не предусматривают ограничений на использование вида плотности распределения исследуемых случайных величин. На практике широкое распространение получило применение стандартного нормального распределения случайных величин, которое во многих случаях исключает отображение реальных процессов с необходимой адекватностью. Действие различных дестабилизирующих факторов на сигналы, комплекс помех при многолучевом распространении сигналов, прохождения их через неоднородные среды порождают сложную сигнально-помеховую ситуацию, которая описывается негауссовыми случайными процессами [2]. Эти обстоятельства существенно усложняют применение традиционных гауссовых моделей при разработке алгоритмов оценивания параметров сигналов в технических системах.

Использование традиционных подходов к исследованию и разработке систем обработки случайных негауссовых процессов характеризуется существенными ограничениями, связанными со сложностью их алгоритмической реализации, ростом вычислительных ресурсов, что приводит к соответствующим трудностям при создании качественных программно-алгоритмических и аппаратных средств обработки сигналов. Осложнения при применении традиционных подходов также связаны с тем, что случайные процессы могут иметь коррелированный негауссовый характер.

Исследования последних лет свидетельствуют о том, что для решения задач обработки негауссовых процессов перспективным является другой подход, который для описания статистических свойств случайных величин использует моменты и кумулянты (семиварианты) и позволяет с приемлемым приближением характеризовать статистические свойства негауссовых процессов [3, 4]. Такой подход позволяет повысить точность обработки негауссовых сигналов по сравнению с традиционным корреляционным подходом при заданных ограничениях на их сложность, уменьшить сложность алгоритмов оценивания параметров сигналов, учесть корреляционные связи негауссовых случайных величин [5, 6].

Использование моментно-кумулянтных моделей для описания случайных процессов имеет ряд особенностей, учет которых требует проведения теоретических исследований и практических разработок. В частности, это касается проблем получения математических моделей негауссовых случайных величин, учета корреляционных связей, разработки и исследования новых методов оценивания параметров сигналов на фоне негауссовых помех. Наиболее эффективным путем решения проблемы совершенствования процессов обработки информации в системах оценивания параметров сигналов является создание соответствующих методов и средств математического и компьютерного моделирования при решении задач анализа, синтеза, проектирования в системах наблюдения, контроля, диагностики и управления.

Для решения поставленной задачи оценивания параметров сигналов на фоне коррелированных негауссовых помех предлагается использование метода максимизации полинома (ММП) (метода Кунченко), который хорошо себя зарекомендовал для решения широкого круга задач [4].

Адаптированный ММП [6] позволяет учитывать статистическую связь в виде совместных моментов и кумулянтов случайных величин в алгоритме нахождения оценок параметров и получать оценки с меньшей дисперсией по сравнению с известными результатами.

Рассмотрено построение алгоритмов оценивания параметра постоянного сигнала $S(\vartheta)$ дискретного процесса $\xi(t)$, наблюдаемого на фоне негауссовых помех $\eta(t)$, которые описываются последовательностью моментов и кумулянтов $\chi_i(\vartheta)$, $i = 1, 2, ...$:

$$\xi(t) = S(\vartheta) + \eta(t). \tag{1}$$

Алгоритм нахождения оценок базируется на усовершенствовании метода максимизации полинома [6] и для описания случайных процессов используются данные про истинные значения параметров помехи $\eta(t)$ с нулевым математическим ожиданием ($\chi_1(\vartheta) = 0$) в виде одномоментных кумулянтных функций $\chi_2(\vartheta)$, $\chi_3(\vartheta)$ и кумулянтных функций многомоментного распределения $\chi_2(0, \tau)$, $\chi_3(0, \tau, \tau)$, $\chi_3(0, 0, \tau)$, которые зависят от оцениваемого параметра ϑ. Наблюдаемая помеха с таким распределением может быть отнесена к классу асимметричных негауссовых случайных величин [4].

При проведении исследований примем допущение, что корреляционная функция негауссовой помехи известна $\chi_2(0, \tau) = r_\xi(\tau)$. Предложенный подход будет реализовываться для корреляционных функций второго порядка, которые часто используются в различных приложениях:

$$r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|},\ r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}\cos\beta\tau,\ r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}(\cos\beta\tau + \frac{A}{\beta}\sin\beta|\tau|),$$

где $\tau = |t_v - t_k|$ - временное расстояние между выборочными значениями, которое меньше интервала корреляции $\tau = |t_v - t_k| \le \tau_{кор}$, $v, k \to 1, n$; $\tau_{кор}$ - время корреляции, которое определяется минимально допустимым значением корреляционной функции; $\sigma^2 = r_\xi(0)$ - дисперсия случайного процесса; $\frac{1}{A} > 0$ – постоянная времени уменьшения корреляционных связей (определяется экспериментальным путем). Начиная с $|\tau| \approx 3\frac{1}{A}$ можно считать, что $r_\xi(\tau) = 0$.

В соответствии с алгоритмом усовершенствованного метода максимизации полинома (метода Кунченко) исследуемые статистические данные $x_1 = \xi(t_1) = \xi_1$, $x_2 = \xi(t_2) = \xi_2$, …, $x_n = \xi(t_n) = \xi_n$ представляются в виде стохастического полинома степени s [6]. Тогда оценка неизвестного параметра ϑ при моментном описании случайного процесса и степени полинома s находится из решения уравнения:

$$\sum_{i=1}^{s}\sum_{k=0}^{p}h_{ik}[\vartheta]\sum_{v=1}^{n}\left(\xi_{v-k}^{i}-\alpha_i[\vartheta]\right)\Big|_{\vartheta=\hat{\vartheta}}=0, \tag{2}$$

где ξ_{v-k}^{i} – статистически связанные и одинаково распределенные выборочные значения из исследуемого случайного процесса $\xi(t)$, $v\to\overline{1,n}$; $\alpha_i[\vartheta]$ - моменты i-го порядка одномоментного распределения случайного процесса; $h_{ik}[\vartheta]$ - неизвестные коэффициенты, которые зависят не только от параметра ϑ, который оценивается, но и от вида функции корреляции $r_{\xi}(\tau)$ и определяются из решения системы алгебраических уравнений:

$$\sum_{i=1}^{s}\sum_{k=0}^{p}h_{ik}[\vartheta]K_{i,j}(v-k,\vartheta)=\frac{d}{d\vartheta}\alpha_i(\vartheta),\ i=\overline{1,s},\ v=\overline{0,p-1}, \tag{3}$$

где $K_{i,j}(v-k,\vartheta)$ - коэффициенты, которые определены из следующих соотношений:

$$K_{i,j}(v-k,\vartheta)=E\left\{\left[\xi_v^i-\alpha_i\right]\left[\xi_k^i-\alpha_j\right]\right\}=E\left[\xi_v^i\xi_k^j\right]-\alpha_i\alpha_j, \tag{4}$$

где ξ_v^i, …, ξ_k^i - значения стационарного процесса в v-й и k-й моменты дискретного времени t ($t=1,2,...,n$).

На основе предложенного подхода в работе синтезированы полиномиальные алгоритмы нахождения оценок параметра постоянного сигнала на фоне аддитивных коррелированных асимметричных негауссовых помех при использовании адаптированного ММП. Показано, что учет корреляционных связей для описания случайных процессов позволяет успешно использовать данный подход для построения эффективных алгоритмов оценивания параметров сигналов. Полученные результаты характеризуются меньшими значениями дисперсий оценивания параметров по сравнению с известными результатами и зависят как от вида корреляционных связей, так и от параметров негауссовых помех.

Литература

1. Van Trees, H.L. Detection Estimation and Modulation Theory / H.L. Van Trees, K.L. Bell, Z. Tiany. – 2nd Ed. – New York : John Wiley & Sons, 2013. – P. I : Detection, Estimation, and Filtering Theory.
2. Middleton, D. Non-Gaussian Statistical Communication Theory / D. Middleton. – New Jersey : Jonn Willey & Sons, 2012.
3. Малахов, А.Н. Кумулянтный анализ негауссовских процессов и их преобразований / А.Н. Малахов. – М. : Сов. радио, 1979. – 376 с.
4. Kunchenko, Y.P. Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables / Y. P. Kunchenko. – Germany, Aachen : Shaker Verlag, 2002. – 396 p.
5. Palahin, V. Joint Signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization / V. Palahin, J. Juhár // Journal of Electrical Engineering. – 2016. – Vol. 67 (2016), №.3. – P. 217–221.
6. Parameters Estimation of Correlated non-Gaussian processes by the Method of Polynomial Maximization / L. Vokorokos [et al.]. – 2016. – P. 313–319. – (Submitted to IET Signal Processing).