НАХОЖДЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ КВАЗИДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ ε-СЛОЯ

Л. И. Сучкова, А. Г. Якунин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», lis@agtu.secna.ru

Сигнал, формируемый и обрабатываемый информационно-измерительными системами, в общем случае представляет собой квазидетерминированную функцию времени, пространственных координат и параметров сопровождения. Эти параметры могут изменяться во времени, создавая неаддитивный шум, не являющийся стационарным эргодическим случайным процессом [1]. Будем полагать, что сигнал в общем случае является функцией пространственно-временных координат $r^T=\{x,y,z,t\}$ и вектора параметров λ. Одним из наиболее простых методов непосредственного нахождения интервальной оценки многопараметрических квазидетерминированных сигналов в условиях априорной неопределенности является метод, основанный на применении модели ε-слоя [2]. В соответствии с этой моделью предполагается, что каждая точка r сигнала $Y(r,\lambda)$ может быть определена с точностью до некоторого интервала $(Y(r_0,\lambda)-\varepsilon^-(r_0), Y(r_0,\lambda)-\varepsilon^+(r_0))$, то есть наблюдаемый сигнал имеет слой неопределенности, причем в общем случае толщина ε-слоя неодинакова для положительных и отрицательных отклонений и является функцией пространственно-временных координат. Действительно, любой сколь угодно сложный сигнал всегда можно представить в виде суммы $E_m(r,\lambda)+\Phi(r)$, где относительно функции сопровождения $\Phi(r)$ можно достоверно утверждать, что ее значения лежат в пределах ε-слоя, а $E_m(r,\lambda)$ – достаточно простая модельная функция, описывающая сигнал. Очевидно, модель ε-слоя не предполагает возможности сужения интервала неопределенности наблюдаемых значений сигнала по мере увеличения числа выборок, и применение модели позволяет получать лишь интервальные оценки с единичными квантилями. Для нахождения таких оценок представим сигнал в виде:

$$\mathrm{Y}(\mathrm{r},\lambda)=\mathrm{Y}(\mathrm{r},\lambda_0)+\delta\mathrm{Y}(\mathrm{r},\lambda,\lambda_0), \tag{1}$$

где δY- вариация сигнала, обусловленная отклонением вектора параметров λ относительно его фиксированного значения λ_0. Очевидно, такие вариации будут неразличимы в пространстве наблюдений до тех пор, пока соблюдается условие:

$$-\varepsilon^-(\mathrm{r})\le\delta\mathrm{Y}(\mathrm{r},\lambda,\lambda_0)\le\varepsilon^+(\mathrm{r}). \tag{2}$$

Полагая, что толщина ε-слоя достаточно мала, для представления $\delta Y(r,\lambda,\lambda_0)$ можно воспользоваться линейным приближением:

$$\delta\mathrm{Y}(\mathrm{r},\lambda,\lambda_0)=\langle\left.\frac{\mathrm{dY(r,\lambda)}}{\mathrm{d}\lambda}\right|_{\lambda=\lambda_0},\lambda-\lambda_0\rangle.$$

Если вектор λ содержит n компонент, выражение (2) может быть записано в виде:

$$\delta\mathrm{Y}(\mathrm{r},\lambda,\lambda_0)=\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}}\mathrm{S_i}\,(\mathrm{r},\lambda_0)\Delta\lambda_\mathrm{i} \tag{3}$$

где $\Delta\lambda_i=\lambda_i-\lambda_{0i}$ - отклонение i-того параметра от его фиксированного значения λ_{0i}, а

$S_i(r,\lambda) = {\partial Y(r,\lambda)}/{\partial \lambda_i}$ - функция чувствительности по i-му параметру. Тогда, подставляя (3) в (2), можно получить выражение относительно области допустимых отклонений для любого i-го параметра.

Рассмотренную модель сигнала можно использовать для определения состояния объекта контроля по интервальным значениям параметров модельной функции. Для компонент вектора λ в общем случае не выполняется условие независимости, и их интервальные оценки формируют область в пространстве параметров, которая должна изменяться в процессе обработки данных реализации сигнала. Определение области Λ допустимых текущих интервальных значений параметров λ модельной функции осуществляется в соответствии с ее типом. Так, для линейной функции $E_1(r,\lambda) = \lambda_1 r + \lambda_0$ будем определять интервальные оценки параметров λ итерационным методом, на каждом шаге которого осуществляется уточнение границ области допустимых значений интервальных оценок в пространстве параметров. Для простоты рассуждений вектор r представим единственной временной компонентой t.

На первом шаге по реализации сигнала в точках r=0 и r=dr с учетом того, что значения функции сопровождения Ф(r) находятся в границах $\varepsilon -$слоя вида (2), вычисляется интервал для параметра λ_0, при этом верхняя λ^{max} и нижняя λ^{min} границы оценки параметра λ_0 равны $\hat{\lambda}_0^{\max 1} = Y(0,\lambda) + \varepsilon_0^-$, $\hat{\lambda}_0^{\min 1} = Y(0,\lambda) - \varepsilon_0^+$.

Оценки верхней и нижней границ параметра λ_1 вычисляются в точках, где параметр λ_0 принимает минимально и максимально возможные значения. Вычисленные на первой итерации интервальные оценки компонент вектора параметров λ формируют в пространстве параметров четырехугольник с вершинами, соответствующими минимальным и максимальным значениям параметров. Будем называть область допустимых интервальных оценок компонент вектора параметров при нахождении функции сопровождения в границах ε-слоя, ε-областью. Обозначим ε-область, полученную на первой итерации работы алгоритма через OE_1, она же на первом шаге будет результирующей областью OR допустимых значений параметров. На последующих итерациях по реализации сигнала в точках r=i*dr и r=(i+1)*dr для i≥1 вычисляются нижние и верхние границы оценок параметров λ_0 и λ_1, являющиеся координатами вершин четырехугольника, образующего ε-область OE_{i+1} в пространстве параметров. Для формирования результирующей ε-области OR допустимых значений параметров модельной функции на каждой итерации определяется пересечение текущей области OR и ε-области OE'_{i+1}, координаты вершин которой получены из координат вершин ε-области OE_{i+1} путем переноса начала координат из точки (i*dr,0) в точку (0,0).

Анализ области OR позволяет судить о параметрах квазидетерминированных процессов, характеризующих состояние объектов контроля в измерительных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданович В.А., Вострецов А.Г* Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 319 с.

2. *Сучкова Л.И., Якунин А.Г.* Применение интервальных оценок в приборах и методах контроля для выделения информационных параметров квазидетерминированных сигналов // Вестник Югорского государственного университета. Вып. 2(21). 2011. С. 69-81.