

УДК 681.518.54

О.Ю. Кропачек, Р.П. Мигущенко, М.П. Качанов

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

ОБОБЩЕННЫЕ МОДЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДИСКРЕТНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЯХ

В статье проанализированы причины снижения достоверности контроля. Отмечено, что основную роль играет методическая составляющая вероятностей ошибок контроля, устранить которую при наличии систематических погрешностей преобразования информации – невозможно. Показано, что эта составляющая появляется из-за неадекватного воспроизведения стохастического параметра на этапе обучения системы контроля. Выделено три модели стохастических контролируемых величин. Вид модели указывает на характер случайного изменения среднего значения при постоянной или изменяющейся дисперсии. Представлены модели преобразований вектора контролируемых величин, стохастически зависящих от параметра контроля.

Ключевые слова: неоднородность, динамическая модель, контроль, измерение.

Введение

Постановка проблемы. Подавляющее большинство объектов измерительного контроля и функциональной технической диагностики характеризуются неустранимой динамикой своих свойств, которые априори характеризуют такие объекты, как диффузные [1]. Получение измерительной информации о техническом состоянии таких объектов в ходе мониторинга или контроля связано с использованием случайных измерительных сигналов, отличающихся заданной нестационарностью, которая характеризует появление определенных нарушений в функционировании объектов. Выявление изменений в числовых характеристиках параметров таких случайных сигналов – это достаточно сложная и проблемная задача обнаружения изменения свойств сигналов и динамических систем [2].

Анализ последних достижений и литературы. Основные публикации, посвященные изучению процедур статистического обнаружения изменения свойств динамических объектов по случайным нестационарным сигналам, появились в 90-х годах 20-го века [2, 3]. Они позволили разделить контролируемые случайные сигналы на две группы по двум принципиально различным видам нестационарности: нестационарность по математическому ожиданию и нестационарность по спектру. Такое разделение позволило достаточно эффективно выбирать процедуры обработки случайных, распределенных во времени реализаций, дискретизированных измерительных сигналов [4, 5]. Однако, следует отметить, что во всех существующих подходах и методах получения диагностической информации не учитывается случайная неоднородность тех измерительных экспериментов, в ходе которых получены такие сигналы. Такая неоднородность появляется,

если изменяются (дискретно, или постепенно) начальные условия планов экспериментов. Эти изменения чаще всего обусловлены внешним или внутренним неконтролируемым и нерегулируемым факторным влиянием, изменяющим свойства контролируемого диффузного объекта.

Цель статьи: показать возможности методического разделения вероятностных составляющих нестационарности в контролируемых случайных сигналах с учетом статистических параметров, характеризующих неоднородности условий планирования измерительного эксперимента.

Базовые виды случайных сигналов по типам статистической неоднородности

Учитывая, что неоднородности измерительных экспериментов делят на два основных типа – скачкообразные и дрейфовые, удобным является классифицировать нестационарные сигналы измерительной информации как изменения случайных величин во времени при условии, что существует нестационарность их числовых характеристик, особенно, математического ожидания и дисперсии. Такая нестационарность позволяет выделить две модели поведения случайных измерительных сигналов:

– динамическая модель с неоднородностями дискретного типа

$$X_1(t/Y) = F_1[Y] + \varepsilon_1 \left[\{X_v\}^{n-1}, t \right] + \varepsilon_1; \quad (1)$$

– динамическая модель с неоднородностями непрерывного и дискретного типов

$$X_1(t/Y) = F_1[Y, t] + \varepsilon_1 \left[\{X_v\}^{n-1}, t \right] + \varepsilon_1. \quad (2)$$

В (1) и (2) представлены три типа базовых составляющих статистической неоднородности:

1. Первая составляющая моделирует влияние функции преобразования, вид и параметры которой также неопределенны, однако могут быть заменены функциональной моделью, степень неадекватности которой также порождает неопределенность в рамках систематической погрешности.

2. Вторая составляющая отражает неопределенность, обусловленную факторным влиянием Y и $\{X_v\}^{n-1}$ на информационный признак X_1 .

3. Третья составляющая $\varepsilon_1(t)$ отражает инструментальную погрешность технических средств контроля.

Общая модель динамической контролируемой величины

Для диффузных объектов физические контролируемые величины являются функциями времени наблюдения и представляют собой непрерывные случайные процессы с той или иной степенью нестационарности, обусловленной случайным характером второго слагаемого в рамках модели (1). Говорить об эргодичности такого процесса нельзя, поскольку неоднородность дискретного типа проявляется в скачкообразных случайных изменениях средних значений множества $\{X_v\}^{n-1}$ контролируемых величин, стохастически связанных с информативными величинами X_1 .

Если измеряемая физическая величина представляет собой случайный процесс $\xi(t)$, то, для получения статистических выводов о характеристиках этого процесса для фиксированных состояний π_1, \dots, π_K объекта контроля, целесообразно представить $\xi(t)$ усеченной реализацией на интервале наблюдения T :

$$x(t) = \begin{cases} \xi(t), & t \leq T; \\ 0, & t > T. \end{cases} \quad (3)$$

Такую реализацию можно заменить суммой квазидетерминированных случайных процессов [6]

$$x(t) = \sum_{i=1}^n \vartheta_i \phi_i(t). \quad (4)$$

где $\vartheta_1, \dots, \vartheta_n$ – совокупность неизвестных (случайных) параметров модели преобразования;

$\phi_1(t), \dots, \phi_n(t)$ – заданные детерминированные функции.

Модель (4) позволяет представить процесс $\xi(t)$ в пространстве параметров $\vartheta_i, i = \overline{1, n}$, числовые характеристики которых являются функциями состояний π_1, \dots, π_K . Параметры $\{\vartheta_i\}$ модели называют координатами случайного процесса [6], которые технически допускают два вида преобразований:

- дискретизация реализации $x(t)$ через интервалы корреляции τ_0 [7] для получения выборки (x_1, \dots, x_N) ;

- фильтрация $x(t)$ с помощью набора фильтров, импульсные переходные характеристики которых согласованы с корреляционной функцией процесса $\xi(t)$ [6] (для получения независимых сигналов на выходах фильтров).

В любом случае модель (4) переводит задачу контроля любого из K состояний в дискриминацию вектора параметров модели $\bar{\vartheta}_n = (\vartheta_1, \dots, \vartheta_n)$. Если состояниям π_1, \dots, π_K соответствуют уровни Y_1, \dots, Y_K физического параметра Y объекта контроля, то на этапе обучения необходимо оценить минимальное число отсчетов N_{min} , обеспечивающее заданную достоверность контроля. На этапе контроля, как и на этапе обучения, можно использовать, для нормировки вектора $\bar{\vartheta}_n$, нормализующие преобразования [8] параметров модели $\{\vartheta_i\}$ в статистики $\{S_i\}$, средние значения $\{\bar{S}_i\}, i = \overline{1, n}$ которых являлись бы функциями уровней $\{Y_j\}$, а дисперсии $\{\sigma_{S_i}^2\}$ не зависели бы от номера состояния $j = \overline{1, K}$.

На рис. 1 и 2 представлены структурные схемы обработки, соответственно, многомерных (по состояниям) процессов $\{\xi(t)\}^k$ – этап обучения и одномерного (по j -му состоянию) процесса $\xi(t)$ – этап контроля.

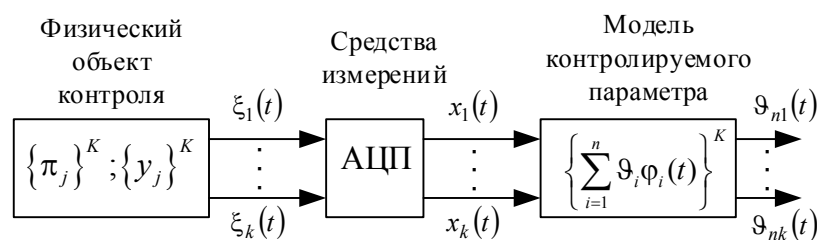


Рис. 1. Общая структура процедур преобразования измерительного сигнала на этапе обучения информационной системы

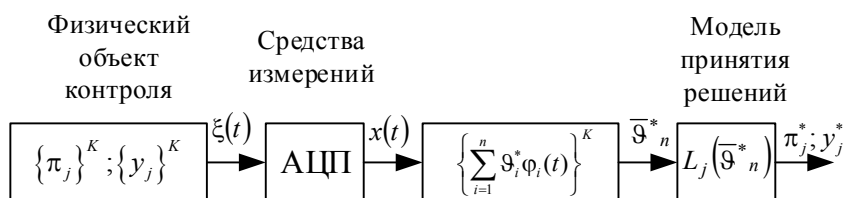


Рис. 2. Общая структура процедур преобразования измерительного сигнала на этапе принятия решений информационной системы

Средство измерения – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). Нормализующие преобразования – опущены.

Для этапа контроля, естественно, должно выполняться условие

$$\forall \bar{\theta}_n \left[\bar{\theta}_n \in \bar{\theta}_n^{(j)} \rightarrow \bar{\theta}_n \in y_j \right]. \quad (3)$$

Выводы

Показана важность учета динамических особенностей изменения уровней влияющих факторов, которые нарушают стабильность условий проведения измерительного эксперимента, что обуславливает изменение нестационарности контролируемых случайных сигналов.

Доказана обоснованность разделения моделей случайных сигналов по виду этапов функционирования информационной системы (обучения и принятия статистических решений).

Список литературы

1. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы: Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование: [учеб. пособие для вузов] / М.П. Цапенко [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 440 с.
2. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. / [Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Под-

жаренко В.О., Сердюк Г.Б.]. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.

3. Press S.J. Bayesian statistics: principles, models and applications (Байесовские статистики: принципы, модели и приложения) / S.J. Press. – New York: John Wiley, 1988. – 453 p.

4. Малайчук В.П. Обработка многомерных нестационарных случайных пространственно-временных рядов в задачах мониторинга / В.П. Малайчук, А.В. Мозговой // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ – 2005. – № 15. – С. 90-93.

5. Козленко М.І. Дослідження ефективності застосування різних типів сигналів в інформаційних каналах систем керування та контролю / М.І. Козленко // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ, 2006. – № 16. – С.91-93.

6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники: в 3-х кн. Кн. вторая. / Б.Р. Левин. – М.: Сов. радио, 1975. – 392 с.

7. Жовинский А.Н. Инженерный экспресс-анализ случайных процессов / А.Н. Жовинский, В.Н. Жовинский – М.: Энергия, 1979. – 112 с.

8. Шефе Г. Дисперсионный анализ / Г. Шефе; пер. с англ. Б.А. Севостьянов [2-е изд.]. – М.: Наука, 1980. – 512 с.

Поступила в редколлегию 30.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ф. Щапов, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

УЗАГАЛЬНЕНІ МОДЕЛІ НЕСТАЦІОНАРНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ПРИ ДИСКРЕТНИХ СТАТИСТИЧНИХ НЕОДНОРІДНОСТЯХ

О.Ю. Кропачек, Р.П. Мигущенко, М.П. Качанов

У статті проаналізовано причини зниження вірогідності контролю. Відзначено, що основну роль грає методична складова ймовірностей помилок контролю, усунути яку при наявності систематичних помилок перетворення інформації – неможливо. Показано, що ця складова з'являється через неадекватність відтворення стохастичного параметру на етапі навчання системи контролю. Виділено три моделі стохастичних контрольованих величин. Вид моделі вказує на характер випадкової зміни середнього значення при постійній або змінній дисперсії. Представлені моделі перетворень вектора контрольованих величин, стохастично залежних від параметра контролю.

Ключові слова: неоднорідність, динамічна модель, контроль, вимірювання.

GENERALIZED MODELS TRANSIENT MEASUREMENT SIGNAL AT DISCRETE STATISTICAL HETEROGENEITY

O.Yu. Kropachek, R.P. Mygushchenko, M.P. Kachanov

The article analyzes the reasons for reducing the reliability of the control. Noting that the major role played by methodological component of the error probabilities of control, which is to eliminate the presence of systematic errors transformation of information – impossible. It is shown that this component appears due to inadequate reproduction of stochastic parameters during training systems we control. It identifies three models of stochastic variables controlled. View the model indicates the character of random changes in the average value of a constant or variable dispersion. Pre-presented model transformation vector of controlled variables are stochastically dependent parameters control.

Keywords: heterogeneity, dynamic model, control, measurement.