

УДК 006.91 + 004

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

К.С. Ткаченко

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия,
KSTkachenko@sevsu.ru

Аннотация. Изменения и количественный рост характеристик и количества измерительных приборов вынуждает появление изменений в методах контроля окружающей среды. Построение для измерительных приборов новых моделей изменяет характер выполняемых по измерению работ на более простой. В настоящей работе рассматривается подход для получения новых приборных моделей в рамках комплексных приборных систем. В основе подхода лежит использование процессов Ито, на основе которых производится статистическая оценка описательных характеристик измерительных приборов.

Ключевые слова: процесс Ито, статистические оценки.

SIMULATION OF RANDOM PROCESSES TO IMPROVE THE RELIABILITY OF MEASURING INSTRUMENTS

K.S. Tkachenko

FSAEI HE "Sevastopol State University", Sevastopol, Russia,
KSTkachenko@sevsu.ru

Annotation. Changes and quantitative growth in the characteristics and number of measuring devices forces changes in environmental control methods. Building new models for measuring devices changes the nature of the work performed on measurement to a simpler one. In this paper, we consider an approach for obtaining new instrument models in the framework of complex instrument systems. The approach is based on the use of Ito processes, which are used for statistical evaluation of the descriptive characteristics of measuring devices.

Key words: Ito process, statistical estimates.

Введение

В наши дни повседневная практика демонстрирует, что постоянный количественный рост характеристик и количества измерительных приборов играет важную роль в формировании и обеспечении развития методов контроля окружающей среды. Значимость использования этих приборов такова, что построение для них новых моделей позволяет выполнить работы в более простых условиях. Получение новых приборных моделей изменяет формы деятельности в рамках комплексных приборных систем. Поэтому далее будут использоваться процессы Ито, статистические оценки которых являются описанием измерительных приборов.

Обзор существующих подходов

Довольно часто при эксплуатации сложных систем требуется поддерживать определённый климатический режим их работы [1]. Поддержка этого режима происходит на основе измеряемых индикаторных параметров среды, которые отображаются в различной форме представления. Дистанционное управление системой и отслеживание параметров приводит к необходимости построения особых автоматизированных комплексов. Частью этих комплексов являются отдельные модули так называемого «интернета вещей». Для таких модулей необходимо решение задач энергосбережения и мониторинга. Как бюджетный вариант и по простоте непосредственной реализации в основу можно положить использование доступной глобальной телекоммуникационной сети Интернет. В таких системах применение типовых датчиков и регуляторов не всегда является перспективным в стандартном их исполнении, поскольку они могут потребовать значительных доработок и настройки, а значит, обуславливаемая этим их избыточность и требование технической поддержки экономически нецелесообразны. Поэтому требуются особые многофункциональные датчики, которые можно оптимально подобрать для минимизации затрат на реализацию.

Использование для этих целей интеллектуальных систем мониторинга требует построения теоретико-структурных моделей их организации [2]. Прогнозирование состояния таких моделей должно удовлетворять требованиям надёжности, достоверности, сопоставимости и соответствия изучаемым параметрам ситуации контролируемой среды. Повышение степени автоматизации достигается изменением периодичности регулярного контроля собираемой приборной информации. Согласованное взаимодействие различных подсистем территориально распределённой сложной автоматизированной системы достигается путём обработки и хранения больших объёмов служебной информации. Эта информация и данные экологического мониторинга должны иметь комплексные адекватные модели, обеспечивающие им прогностическое развитие. Такие модели могут носить иерархический характер, поскольку содержат в своём составе различные уровни, соответствующие территориальным подсистемам. Унифицированное представление моделей позволяет производить рациональный выбор режима непрерывного функционирования измерительных подсистем. Принятие экономически целесообразных и эффективных решений по модернизации функционирования этих подсистем на основе результатов обработки данных мониторинга ведёт к обеспечению подготовки всей системы в целом к её интегрированной адекватной реакции на возможные изменения.

Применение облачных вычислений при решении задач, связанных с природным мониторингом, изменяет характер обнаружения и захвата критических ситуаций [3]. Взаимосвязь с облачными технологиями основана на активном применении телекоммуникационных структур, обладающих специализированными операционными блоками, манипулирующими нечёткими объектами.

Нечёткие объекты отражают ситуации неопределённости и возникающие от них риски принятия решений. Специализированная обработка данных на массово параллельных и потребляющих мало энергии вычислителях снижает сложность при взаимодействии большого количества датчиков. Изменение режимов работы этих датчиков путём корректировки их алгоритмов функционирования на основе интеллектуального подхода является масштабирующим фактором для повышения надёжности и эффективности работы на нескольких связанных уровнях сложной системы мониторинга. Кластеризация отдельных функциональных элементов этой системы с некоторой погрешностью формирует множества для принятия решений о необходимости изменения и перемещения датчиков.

Сети из объединённых компьютеров позволяют эффективнее проводить изучение природных систем, чем при использовании традиционных способов [4]. В основе современных подходов на основе облачных вычислений лежат многоагентные информационные базы. Такие агенты обеспечивают непрерывный анализ данных о состоянии контролируемых величин природных явлений. Накопление большого количества данных в формате, пригодном для последующей обработки, позволяет в оперативном режиме прогнозировать изменения наблюдаемых объектов. В случае регулярных и частых изменений состояний таких объектов упрощённое изменение доступных для облачных вычислений ресурсов обеспечивает необходимую реакцию на изменения в среде. Автономные объекты контролируют и поддерживают работоспособность этих облачных вычислений на локальном и глобальном уровне. Объединённая обработка данных в инфраструктуре достигается децентрализованной маршрутизацией.

В некоторых ситуациях анализ результатов мониторинга требует обработки точечных данных первичных измерителей с неопределённостью [5]. Свойства этих данных динамически изменяются в течение времени. Поэтому для изучения свойств описывающих данные процессов необходимо применять моделирование. Моделирование этих динамических систем и их подсистем является достаточно сложным и многоуровневым. Результаты моделирования на различных уровнях дополняют друг друга. Для повышения вычислительной эффективности моделирования часто применяют разбиение процесса моделирования на отдельные стадии для их дальнейшего рассмотрения. Модульные системы мониторинга имеют у различных модулей различные описывающие их атрибуты. Логические взаимоотношения атрибутов формируются поэтапно во времени. Это приводит к тому, что информация о результатах мониторинга существует в виде некоторых отдельных временных рядов. По этим рядам для интеллектуальных систем мониторинга происходит их обучение и самообучение.

Поэтому далее надо будет моделировать измерительные приборы на основе аппарата процессов Ито [6].

Моделирование

Пусть исследуемый временной ряд представляется случайным процессом $X(t)$, описывающим поток информационных воздействий от внешних измерительных приборов, представленный в виде:

$$X(t) = ct + \sqrt{D}W(t), \quad (1)$$

где $W(t)$ — винеровский процесс; c — постоянный снос; D — коэффициент диффузии.

Пусть для этого временного ряда известны n отсчетов измеряемого процесса x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) с фиксированной, априори заданной длительностью реализации единственного отсчёта T . По этим величинам x_i по известным соотношениям могут быть получены оценки математического ожидания сноса c и диффузии D случайного процесса (1) с помощью метода наименьших квадратов [7]:

$$\bar{c} = \frac{6}{T(n+1)(2n+1)} \sum_{i=1}^n ix_i; \quad (2)$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{\bar{c}Ti}{n} \right)^2,$$

где \bar{c} — математическое ожидание сноса, \bar{D} — математическое ожидание диффузии.

Ранее для оценки степени воздействия деградаторов на информационно-измерительные системы применялось моделирование процессов Ито [8]. Ниже в настоящей работе рассматривается моделирование, отражающее надёжные характеристики измерительного прибора по отношению к измеряемой величине.

Для этого полагается, что случайный процесс $X(t)$ описывает не что иное, как скорость изменения характеристик наблюдаемой величины, то есть является производной некоторой функции $y(t)$. Тогда:

$$X(t) = y'(t);$$

$$y'(t) = ct + \sqrt{D}W(t). \quad (3)$$

Поэтому теперь на основании ряда отсчётов x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) рассчитываются коэффициенты (3) и находится решение дифференциального уравнения (3). Решение будет численным, поскольку $W(t)$ является винеровским процессом. Численное решение получается с применением средств компьютерной алгебры.

Проводится вычислительный эксперимент, в котором в качестве $X(t)$ выступают значения с датчика псевдослучайных чисел с равномерным законом распределения на отрезке $[0; 1]$. Для одного из случаев конкретные значения (3) получаются в виде (коэффициенты взяты из работы [8]):

$$X(t) = y'(t);$$

$$y'(t) = 0,0834 t + 0,1528^{1/2} W(t). \quad (4)$$

Решение уравнения (4) для $W(t) = 0,5$ представляется на рис. 1.

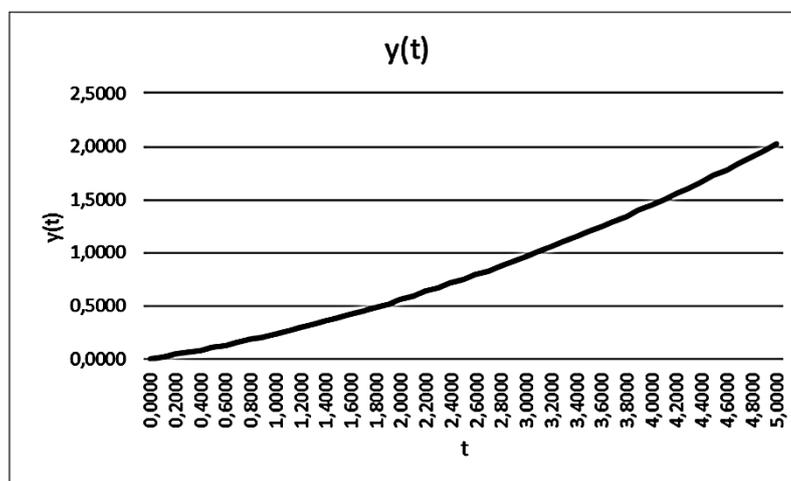


Рис. 1. Решение уравнения (4)

Анализ рис. 1 показывает, что система стабильно реагирует на изменения входного потока параметров.

Заключение

В настоящей работе был рассмотрен подход на основе процессов Ито. Подход позволил получить статистические оценки описательных характеристик измерительных приборов. Этот подход в будущем станет базой для создания новых приборных моделей элементов комплексных приборных систем. При изменениях этих комплексных приборных систем, в том числе характеристик их элементов, модернизируют появление методов контроля окружающей среды.

Список литературы

1. Абдрахманов В.Х., Важдаев К.В., Салихов Р.Б. Информационно-измерительная система дистанционного контроля параметров микроклимата // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2016. — Т. 12. — № 3. — С. 91–99.
2. Иващук О.А. Технология интеллектуального мониторинга экологической ситуации // Образование, наука и производство. — 2013. — № 1 (2). — С. 26–34.

3. Ручкин В.Н., Колесенков А.Н., Фулин В.А., Пикулин Д.Р. Интеллектуальные системы мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2018. — № 2. — С. 11–26.
4. Калантаев П.А. Облачные технологии базы данных мониторинга природных явлений // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2012. — Т. 1. — № 4. — С. 156–160.
5. Соколова С.П., Кузьмина Е.А. Интеллектуальная система мониторинга особо опасных динамических процессов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. — 2008. — Т. 51. — № 11. — С. 73–77.
6. Степанов С.С. Стохастический мир [Электронный ресурс]. — URL: <http://synset.com/pdf/ito.pdf> (дата обращения: 09.12.2019).
7. Саичев А.И., Филимонов В.А., Тараканова М.В. Оценка коэффициента диффузии винеровского случайного процесса с равномерным сносом // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2010. — № 5–1. — С. 61–66.
8. Ткаченко К.С., Скатков И.А. Метод статистического моделирования для проектирования информационно-измерительных систем контроля с учётом особенностей стохастических процессов // Системы контроля окружающей среды. — № 1 (39). — 2020. — С. 46–53.

Статья поступила в редакцию: 11.01.2021 г.

Статья прошла рецензирование: 26.02.2021 г.

Статья принята в работу: 01.04.2021 г.