РАЗДЕЛ V. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Гуренко В.В.

Применение спектральных алгоритмов имитации сигналов для отработки режимов информационно-измерительных систем

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
(Россия, Москва)

doi:10.18411/spc-12-03-2019-07

idsp: sciencepublic-12-03-2019-07

Аннотация

В работе предложен подход к созданию имитационных сигналов для отработки основных режимов работы компонентов информационно-измерительных систем реального времени. Генерация сигналов предусматривается на основе случайных процессов с учетом априорной информации о типовых данных, поступающих от исследуемого объекта. С этой целью разработаны новые спектральные алгоритмы имитации, содержащие преобразование спектров из одной системы базисных функций в другую и дающие снижение вычислительной сложности процесса воспроизведения сигналов. Такой подход позволяет эффективно генерировать случайные сигналы с задаваемыми энергетическими характеристиками и, в том числе, создавать модель помеховой обстановки, максимально приближенной к реальной. Благодаря этому достигается улучшение качества отладки компонентов информационно-измерительных систем в основных режимах функционирования и повышается достоверность их выходных данных. С помощью новых алгоритмов имитации возможна генерация полезных, помеховых сигналов и их аддитивных смесей безотносительно вида функций, задающих энергетические характеристики сигналов, что также является преимуществом предлагаемого подхода.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, случайные сигналы, помеховая обстановка, имитация сигналов, спектральные алгоритмы, преобразование спектра.

В процессе разработки информационно-измерительных систем (ИИС) реального времени возникает необходимость применения методов имитационного моделирования, позволяющих осуществлять отработку основных режимов получения и обработки измерительных данных, поступающих от объекта исследования. Одним из видов технических средств ИИС является множество первичных и вторичных измерительных преобразователей – датчиков [1]. При анализе и синтезе компонентов ИИС с помощью средств цифровой компьютерной техники требуется генерация сигналов различного типа, имитирующих реальные сигналы от датчиков, включая полезные, помеховые сигналы и их аддитивные смеси.

Качество выполнения ИИС поставленных задач в большой степени зависит от корректности и точности работы ее вычислительных алгоритмов. При этом к системам, работающим в режиме жесткого реального времени, предъявляются повышенные требования по быстродействию и точности. Поэтому используемые при отработке режимов ИИС модели сигналов должны наиболее полно соответствовать реальным. Это относится и к разного рода помехам и шумам, искажающим полезный сигнал, снижающим точность измерений и достоверность выходных данных ИИС [2].

Предварительное тестирование ИИС проводится в соответствии со стандартным протоколом испытаний. Практика отработки режимов ее функционирования

предполагает применение для каждого режима специфической модели имитационных сигналов, полученной в процессе длительных лабораторных экспериментов и анализа априорной и апостериорной информации об объекте исследования. Помеховая же обстановка формируется, как правило, путем генерации цветных шумов и, в частности, наложением розового шума. Алгоритмически воспроизведение аддитивного сигнала осуществляется с помощью преобразований Фурье применительно к некоторому классу функций, например, дискретным экспоненциальным функциям. Однако такая модель не вполне отвечает эксплуатации ИИС в реальных условиях, поскольку является значительным их упрощением – как по виду имитируемых сигналов, так и по скорости обновления общей картины помех.

Для моделирования помеховой обстановки, максимально приближенной к реальной как с точки зрения характеристик самих помеховых сигналов, так и с точки зрения частоты ее обновления, предлагается использовать новые эффективные алгоритмы имитации случайных сигналов, разработанные в различных системах базисных функций. В частности, к ним относятся гармонические базисы, системы функций Уолша и Хартли в модифицированном и обобщенном видах [3-5] и ряд других.

Спектральный подход к имитации сигналов осуществляется в рамках корреляционной теории [6] и состоит в восстановлении сигнала из спектра, определяемого спектральными коэффициентами, рассчитанными в выбранном базисе по задаваемым энергетическим характеристикам сигнала. К таким характеристикам относятся, например, функция спектральной плотности мощности или дисперсии (ФСПМ, ФСПД) и автокорреляционная функция (АКФ). При этом одной из решаемых задач является взаимопреобразование спектров из одной базисной системы в другую.

Разработанные алгоритмы имитации [3-5] предусматривают выполнение нескольких этапов:

- вычисление спектральных коэффициентов X_n в одном из гармонических базисов (тригонометрическом, комплексном экспоненциальном или Хартли) на основе заданной ФСПМ $S(w)$;
- преобразование спектра из одной базисной системы в другую, например, в базис обобщенных функций Хартли с заданным упорядочением и получение соответствующих спектральных коэффициентов X_n . Переход осуществляется с помощью оператора преобразования спектров [7] – заранее рассчитываемого ядра Фурье, элементами которого являются коэффициенты перехода от одной базисной системы к другой;
- формирование случайного спектра Y_n из X_n ;
- восстановление целевого случайного сигнала $y(i)$ из его спектра Y_n .

При этом первые два этапа относятся к подготовительной фазе (настройке) алгоритма, а следующие два реализуют собственно имитацию сигналов. Если первая фаза достаточно продолжительная, то на стадии имитации достигается быстрое воспроизведение любой серии случайных сигналов, соответствующих заданным энергетическим характеристикам. Именно благодаря второй фазе алгоритмов возможна эффективная генерация произвольного ансамбля сигналов, отвечающего режиму реального времени.

Оценка точности каждого алгоритма имитации осуществляется при помощи сопоставления теоретической, алгоритмической и экспериментальной АКФ [8].

Применение новых спектральных алгоритмов имитации случайных сигналов позволяет выполнять отладку и тестирование компонентов ИИС с целью достижения их корректного и устойчивого функционирования в основных режимах в условиях

помеховой обстановки, значительно более приближенной к реальным внешним возмущениям. При этом достигается повышение достоверности выходной информации ИИС и улучшается качество тестирования трактов прохождения входных сигналов при сохранении их метрологических характеристик.

Кроме того, разработанные алгоритмы могут применяться для воспроизведения любых случайных сигналов, включая полезные и с наложенным шумовым воздействием, безотносительно формы представления ФСПМ, ФСПД: эти функции могут включать пиковые выбросы и разрывы I рода. При использовании традиционных подходов к воспроизведению сигналов это оказывается невозможным [9]. Указанное обстоятельство также является преимуществом предлагаемого подхода.

Работа выполнена в рамках проекта 2.7782.2017/БЧ «Методы имитации детерминированных и случайных одномерных и многомерных сигналов в научных задачах моделирования информационно-управляющих систем реального времени», осуществляемого при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

1. Н.А. Рубичев. Измерительные информационные системы. М.: Дрофа, 2010. 334 с..
2. Базыкин С.Н., Базыкина Н.А. Анализ помехоустойчивости информационно-измерительных систем // Фундаментальные исследования. 2015. № 3. С. 19-22. Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/pdf/2015/3/37077.pdf> (дата обращения 04.02.2019).
3. Сюзев В.В., Гуренко В.В. Гармонические алгоритмы имитации сигналов в рамках корреляционной теории // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 4. С. 98-117. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-98-117
4. Пролетарский А.В., Сюзев В.В., Гуренко В.В., Бычков Б.И. Алгоритмы преобразования спектров в базисах Хартли и Уолша // Автоматизация. Современные технологии. № 10, 2018. С. 453-461. Режим доступа: http://www.mashin.ru/eshop/journals/avtomatizaciya_i_sovremennye_tehnologii/2035/19/ (дата обращения 04.02.2019).
5. Сюзев В.В. Обобщенные функции и преобразования Хартли в системах счисления с постоянным основанием // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2014. № 2. С. 60–79.
6. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Физматлит, 2002. 496 с.
7. Сюзев В.В., Гуренко В.В., Кучеров К.В., Парфенюк Е.В. Операторы преобразования спектров в базисах Фурье и Уолша // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2017. № 2. С. 138–156. DOI: 10.7463/0217.0000939.
8. Сюзев В.В. Основы теории цифровой обработки сигналов. М.: Издательство «РТСофт», 2014. 752 с.
9. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Сов. радио, 1971. 328 с.