

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

С.С. Костина

СВФ «Укроборонэкспорт», г. Киев, Украина

kostina@i.com.ua

Рассмотрены некоторые вопросы проектирования компьютерных лабораторий – проблемно-ориентированных программных комплексов, предназначенных для проведения исследований и обучения применительно к предметной области формирования и обработки сложных сигналов при отсутствии и наличии аддитивных или мультипликативных помех и других искажений сигнала.

Базовой составляющей процесса исследований различных процессов и явлений, а также сложных технических систем и их элементов, является эксперимент и, в частности, вычислительный эксперимент, проводимый с использованием ЭВМ [1].

Традиционно процесс решения исследовательских задач предполагает:

- 1) задание начальных условий, обеспечивающих потенциальную возможность получения решения;
- 2) выбор методов и средств получения решения с заданной точностью;
- 3) выбор методов и средств представления решения в требуемом виде;
- 4) собственно решение задачи;
- 5) представление полученного решения в виде, требуемом для проведения содержательного и сравнительного анализа;
- 6) проведение содержательного и сравнительного анализа.

В общем случае в качестве решений могут рассматриваться дискретные реализации входных и выходных процессов, различные характеристики, показатели качества и пр.

Применительно к организации вычислительного эксперимента на ЭВМ, этапы 2) и 3) преобразуются к следующему виду [6–10]:

- 2) выбор методов и средств получения решения с заданной точностью
 - 2.1 – выбор или разработка математических методов и базовых математических моделей (аналитических, численных, алгоритмических) для описания рассматриваемых входных процессов и элементов обработки;
 - 2.2 – проверка адекватности выбранных моделей реальным процессам;
 - 2.3 – выбор или разработка алгоритмических математических моделей (моделирующих алгоритмов) для реализации базовых математических моделей на ЭВМ;
 - 2.4 – верификация выбранных моделей;
 - 2.5 – создание программной реализации моделирующих алгоритмов;

3) выбор методов и средств представления решения в виде, требуемом для проведения содержательного и сравнительного анализа:

3.1 – выбор или разработка алгоритмов обработки получаемого решения для требуемого представления;

3.2 – создание программной реализации моделирующих алгоритмов и алгоритмов обработки.

В общем случае проведение исследований ориентировано на реализацию некоторой исследовательской программы (плана), что требует получения не одного, а множества решений. (Отметим, что получение одного решения является частным случаем исследовательской программы). Как правило, целью формирования подобных планов является освещение различных аспектов выбранной предметной области (ПО) с различными детализацией и формами представления выходной информации.

Таким образом, требования к информационному обеспечению вычислительного эксперимента на ЭВМ достаточно высоки.

В настоящее время существует целый ряд стандартных программных средств, позволяющих реализовать вычислительный эксперимент на ЭВМ. Это универсальные языки программирования, языки моделирования, математические экспертные системы (MATHCAD, MATHLAB). Однако применение подобных средств требует от пользователя определенных навыков и знаний (в большинстве своем, непрофильных), что затрудняет их использование в реализации программ исследований и обучения.

В статье рассмотрен подход к организации вычислительного эксперимента с использованием ЭВМ путем создания проблемно-ориентированных программных комплексов – *компьютерных лабораторий*, предназначенных для получения одного или множества решений заданной точности из области обработки сигналов и представления этих решений в требуемом виде.

В рамках компьютерной лаборатории (КЛ) реализуется:

– освобождение исследователя-пользователя от выполнения непрофильных работ (формирования

данных, организации эксперимента, программирования, представления выходной информации);

– информационная поддержка пользователя с использованием различной информации из выбранной ПО;

– организация диалога на ограниченном естественном (профессиональном) языке;

– дружественный интерфейс;

– повышение уровня наглядности и содержательности результатов путем использования методов функционального и статистического анализа, а также различных форм представления информации;

– запоминание результатов эксперимента как автономно, так и в рамках исследовательской программы;

– передача полученной информации на экран, в файл или буфер обмена.

Основной целью создания КЛ является обеспечение требуемого качества проведения исследовательских работ при существенном снижении ресурсных затрат и обеспечении удобства пользователя.

Рассмотрим компьютерные лаборатории, предназначенные для исследования импульсных сигналов при наличии мультипликативных помех и других детерминированных искажений сигналов (*SIGNALS 1*), а также в условиях аддитивных помех (*SIGNALS 2*) [9].

На рис.1 приведена схема, описывающая основные элементы информационного обеспечения таких компьютерных лабораторий.

Согласно приведенной схеме элементами информационного обеспечения КЛ (круги между первой и второй окружностями) являются:

– *каталог импульсных сигналов*;

– *каталог помех*;

– *каталог устройств обработки*;

– *каталог математических моделей*;

– *каталог форм представления* выходной информации;

– *каталог планов* (программ), включая сценарии (стереотипные ситуации) исследований;

– *каталог алгоритмов* обработки информации;

– *интерфейс*;

– *вспомогательная информация* (инструктивно-техническая документация, декларативная информация и пр.).

В общем случае в состав информационного обеспечения следует также включить:

– данные о параметрах сигналов, помех, устройств, моделей;

– терминологические словари, поскольку ориентация на общение в рамках КЛ на профессиональном языке требует лингвистического анализа выбранной ПО;

– алгоритмы управления и коммутации;

– программный комплекс.

За пределами второй окружности на схеме обозначены *разработчики* КЛ, *пользователи* и *источники* информации. К категории источников информации для КЛ относятся различные научно-технические издания и формализованные соответствующим образом знания экспертов в выбранной ПО.



Рис.1

Каталог импульсных сигналов включает в себя [2–4]:

- сигнал с постоянной частотой заполнения;
- сигналы с частотной модуляцией (ЧМ), описываемой линейным законом, квадратичным законом, симметрично линейным законом;
- сигналы с фазокодовой манипуляцией (ФКМ), представленной кодом Баркера, M-последовательностью, четырехфазным кодом.

После выбора сигнала задаются

- параметры сигнала, а для ФКМ сигналов и фазовый код или алгоритм его генерации;
- огибающая сигнала (в рамках предлагаемых функций);

– условия формирования сигнала (начальное положение импульса на выбранном временном интервале, шаг временной дискретизации пр.).

Выбор сигналов и задание их параметров производится в соответствующем окне интерфейса.

Каталог помех описывает [4,5]:

для **SIGNALS 1** – мультипликативные помехи и другие искажения сигнала

– гармонические мультипликативные помехи, искажающие амплитуду и (или) фазу сигнала;

– негармонические мультипликативные помехи, искажающие амплитуду сигнала;

– помехи, искажающие фазовый код ФКМ сигналов;

– другие искажения радиосигнала, связанные с их формированием или обработкой;

для **SIGNALS 2** – аддитивные помехи:

– некоррелированный гауссовский шум;

– некоррелированный гауссовский шум, модулированный по мощности различными функциями;

– хаотическая неструктурная импульсная помеха.

В качестве структурной помехи может рассматриваться второй сигнал любого из приведенных выше типов, описание которого реализуется в рамках каталога сигналов.

Соответственно выбору типа помехи определяются ее параметры.

Каталог элементов обработки включает в себя [2–4]:

– подкаталог фильтров, согласованных с сигналами из приведенного каталога сигналов;

– устройство весовой обработки во временной области с использованием различных весовых функций;

– устройства нелинейной обработки.

Параметры устройств задаются непосредственно после выбора устройства обработки.

Каталог математических моделей содержит:

– математические модели сигналов и помех;

– математические модели устройств обработки;

– соответствующие моделирующие алгоритмы.

Выбор математических методов при описании заданной ПО зависит от ряда характеристик – полноты имеющейся информации, точности, достоверности и сложности получаемых решений, а также требуемых ресурсов (время, память и пр.). В этой связи, в КЛ используется подход, основанный на наличии подмножеств различных версий математических моделей, различным образом описывающих один и тот же объект моделирования. Соответственно определяется и способ организации вычислительного эксперимента – аналитические расчеты, численные методы, включая и метод статистических испытаний. Подобный подход позволяет реализовать ряд исследовательских программ и отразить

различные аспекты выбранной ПО с требуемыми характеристиками и детализацией.

Каталог выходной информации включает:

1 – характеристики входного сигнала:

1.1 – детерминированные характеристики (в **SIGNALS 1**):

– нормированную огибающую;

– зависимость частота-время;

– нормированную зависимость фаза-время;

– нормированный амплитудный спектр;

– автокорреляционную функцию сигнала (аргумент – время или частота) в линейном или логарифмическом масштабе;

– тело неопределенности сигнала в линейном масштабе в двух ракурсах;

– проекции тела неопределенности на плоскость время-частота в двух ракурсах;

1.2 – статистические характеристики (в **SIGNALS 2**):

– плотность распределения вероятностей;

– спектрально-корреляционные характеристики;

2 – характеристики аддитивных помех:

– дискретные реализации математических моделей помех;

– плотности распределения вероятностей квадратурных составляющих и амплитуды;

– потоковые статистики импульсных помех и пр.;

3 – характеристики фильтра:

– информация об импульсной характеристике (ИХ) фильтра;

– нормированная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра;

4 – характеристики выходного сигнала:

4.1 – детерминированные характеристики (в **SIGNALS 1**):

– зависимость амплитуды выходного сигнала от времени и результаты анализа полученной функции;

– нормированный спектр выходного сигнала;

4.2 – статистические характеристики (в **SIGNALS 2**):

– зависимости математического ожидания и среднеквадратического отклонения амплитуды выходного сигнала от времени и результаты анализа полученных функций;

– выходное соотношение сигнал-помеха.

Примеры перечисленных форм представления выходной информации приведены на рис.2...рис.16.

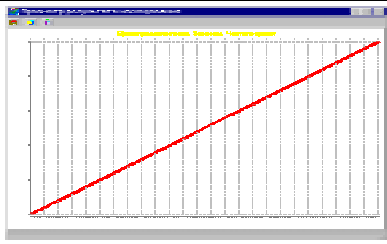


Рис.2. Зависимость частота-время для ЛЧМ сигнала

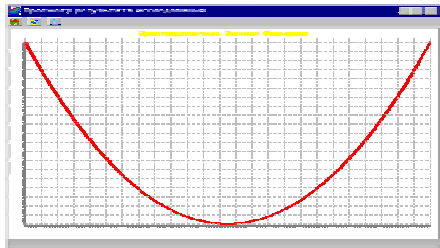


Рис.3. Нормированная зависимость фаза-время для ЛЧМ сигнала

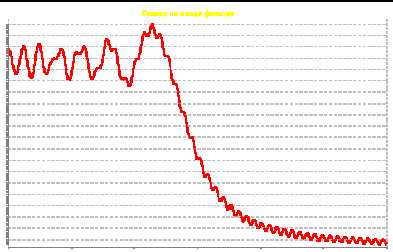


Рис.4. Нормированный амплитудный спектр ЛЧМ сигнала

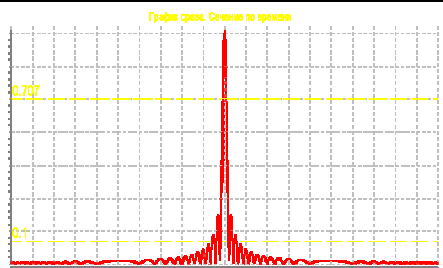


Рис.5. Автокорреляционная функция ЛЧМ сигнала

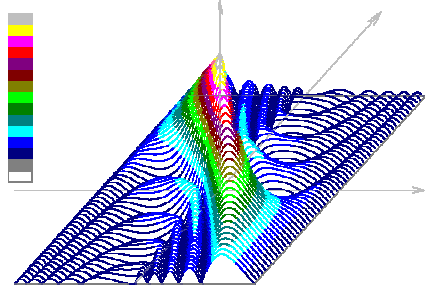


Рис. 6. Тело неопределенности ЛЧМ сигнала

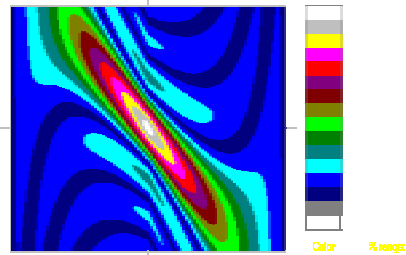


Рис.7. Проекция тела неопределенности ЛЧМ сигнала

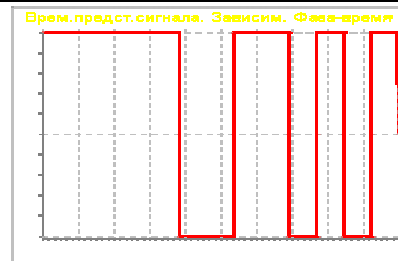


Рис.8. Нормированная зависимость фаза-время для ФКМ сигнала



Рис.9. Нормированный амплитудный спектр ФКМ сигнала (код Баркера)



Рис.10. Автокорреляционная функция ФКМ сигнала (код Баркера)

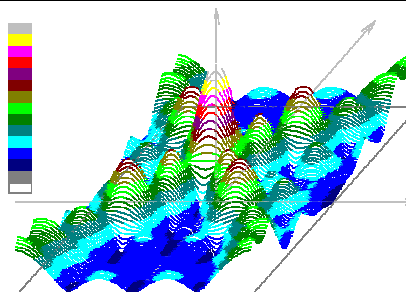


Рис.11. Тело неопределенности ФКМ сигнала (код Баркера)

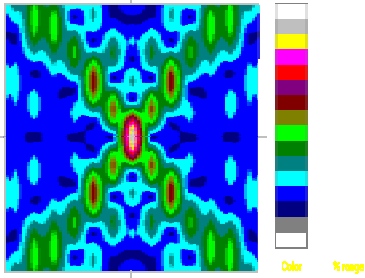
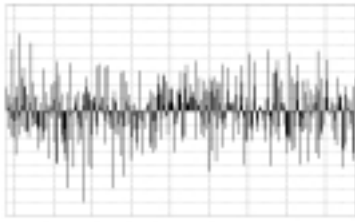


Рис.12. Проекция тела неопределенности ФКМ сигнала (код Баркера)

Рис.13. Дискретная реализация шума



Рис.14. Дискретная реализация хаотической импульсной помехи



Рис.15. Плотность распределения вероятностей шума

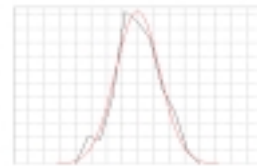


Рис.16. Плотность распределения вероятностей импульсной помехи

Следует отметить, что

- КЛ ориентирована на многозадачный режим работы и свободный доступ для многих пользователей;
- работа с КЛ может происходить как сеанс работы в заданном режиме или как непосредственно считывание требуемой информации.

Выводы. С применением компьютерных лабораторий выбранной проблемной ориентации могут быть решены следующие задачи:

- каталогизация планов типовых исследовательских ситуаций в выбранной ПО;
- имитация сигналов и помех;
- получение широкого спектра характеристик сигналов и помех;
- получение информации о качестве обработки сигналов в условиях помех;
- подготовка данных для сравнительного анализа информации о качестве обработки сигналов в различных условиях;

- подготовка иллюстративного материала для отчетов, лекций, квалификационных и лабораторных работ;
- проведение исследовательских работ;
- проведение лабораторных работ.

Литература

1. Ю.П. Попов, А.А. Самарский. Вычислительный эксперимент // в сб. *Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент*. - М.: Наука, 1988. с. 304.
2. Л. Френкс. Теория сигналов: Пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1974, с. 344.
3. Л.Е. Варакин. *Теория сложных сигналов*. – М.: Сов. радио, 1970, с. 376.
4. Ч. Кук, М. Бернфельд. *Радиолокационные сигналы: Пер. с англ.*-М.: Сов. радио, 1971, с. 567.
5. И.Я. Кремер, В.И.Владимиров, В.И. Карпунин. *Модулирующие (мультипликативные) помехи и прием радиосигналов*. – М.:Сов. радио, 1972, с. 480.
6. В.В. Быков. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. - М. Сов. радио, 1971, с. 328с.
7. Дж. Клейнен *Статистические методы в имитационном моделировании, вып.1,2: Пер. с англ.* - М.:Статистика, 1978 - вып.1, с. 222с.
8. А.Н.Лебедев, Д.Д.Недосекин, Г.А.Стеклова и др. *Методы цифрового моделирования и идентификации стационарных случайных процессов в информационно-измерительных системах x/* - Л.: Энергоатомиздат, 1988, с. 64.
9. С.С. Костина. Организация исследований сложных сигналов в компьютерной лаборатории. //Труды МНТК «АВИА-2002», Киев, 2002, т.2, с. 99-102.
10. С.С. Костина. Математическое моделирование при создании информационных интеллектуальных систем в задачах автоматизации научных исследований в радиолокации //Труды МНТК «Современная радиолокация», Киев, 1994, с. 86-93.