

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ

К.Е. Климентьев, Самарский государственный аэрокосмический университет

Введение. На протяжении многих лет на кафедре ИСТ СГАУ силами преподавателей и студентов ведется разработка и реализация инструментальных сред проектирования компонентов АСНИ реального времени, использующих для оценивания их метрологических характеристик методы имитационного моделирования.

1. Актуальность. Исходными данными для определения метрологических характеристик измерительных систем и подсистем служат метрологические характеристики компонентов: либо нормируемые в соответствие с /1/, либо полученные экспериментально. Обычно, априорно известны (например, из паспорта на средство измерения) лишь нормируемые метрологические характеристики, которые характеризуют воздействие «типовых» факторов на результат «типовых» измерительных процедур. При их использовании приходится довольствоваться рядом упрощений и ограничений /2,3,4/:

- измерительная система рассматривается, как совокупность независимых измерительных каналов;
- математическими моделями отдельных составляющих полной погрешности являются либо детерминированные, либо случайные величины с равномерным или нормальным законами распределения, а так же кусочно-постоянные функции от них;
- функции распределения аналоговых компонентов линейны;
- математическими моделями измеряемых величин являются либо детерминированные величины, либо случайные процессы, удовлетворяющие условиям стационарности и эргодичности;
- композиция составляющих погрешности имеет, в общем случае, аддитивно-мультипликативный характер;
- «алгоритмические» компоненты рассматриваются автономно, не в составе измерительных каналов /5/;
- объектом рассмотрения (при определении метрологических характеристик средств и систем измерений, но не погрешностей результата) служат лишь процедуры прямых измерений.

Эти обстоятельства обуславливают необходимость применения подходов, позволяющих снять подобные ограничения и, тем самым, получить более адекватные оценки метрологических характеристик.

2. Постановка и анализ задачи. Возможность и удобство применения методов имитационного моделирования базируется на представлении уравнения прямых измерений отдельного измерительного канала в виде:

$$\tilde{X}_j(t) = F_{N,j}(F_{N-1,j}(\dots F_{1,j}(X_j(t), \vec{\Phi}_{1,j}) \dots \vec{\Phi}_{N-1,j}), \vec{\Phi}_{N,j}), \quad (1)$$

где $j=1..K$ - номер измерительно-вычислительной цепи; $i=1..N$ - номер компонента в измерительно-вычислительной цепи; t - время; $X_j(t)$ - j -я измеряемая величина; $\tilde{X}_j(t)$ - результат измерения; $F_{ij}(\cdot)$ - процедура, реализующая измерительное преобразование i -го компонента j -ой измерительно-вычислительной цепи; $\vec{\Phi}_{i,j}$ - вектор факторов, влияющих на результат i -го измерительного преобразования. Например, в качестве измерительного преобразования для компонента «датчик» служит функция, описывающая его номинальную функцию преобразования, а моделями факторов, приводящих к основным и дополнительным погрешностям в статическом режиме работы датчика, а так же к погрешностям динамического режима, могут служить случайные величины с различными законами распределения и функциональные зависимости от входной и влияющих величин. Следует иметь в виду, что компоненты этого вектора, в общем случае, так же являются функциями времени: $\Phi_{i,j,k} = \Phi_{i,j,k}(t)$.

В соответствие с (1), результат косвенного измерения есть:

$$\tilde{X}(t) = G(\tilde{X}_1(t), \tilde{X}_2(t) \dots \tilde{X}_K(t), \vec{\Phi}), \quad (2)$$

где G - функциональное преобразование, описывающее связь результата измерения с результатами прямых измерений; $\vec{\Phi}$ - факторы, влияющие на результат G . Функция $G(\cdot)$ может быть отождествлена с «уравнением косвенных измерений» в смысле, вкладываемом в это понятие работой /1/. Факторы же могут иметь самый разный характер. В соответствие с /5/, значимыми факторами могут служить стохастизм G , неполное знание реализуемой в G зависимости и т.п.

Наконец, погрешность ΔX результата измерений, в соответствие с концепцией работы /6/, представима в виде:

$$\Delta X = X - \tilde{X} = X - G(\tilde{X}_1(t), \tilde{X}_2(t) \dots \tilde{X}_K(t)). \quad (3)$$

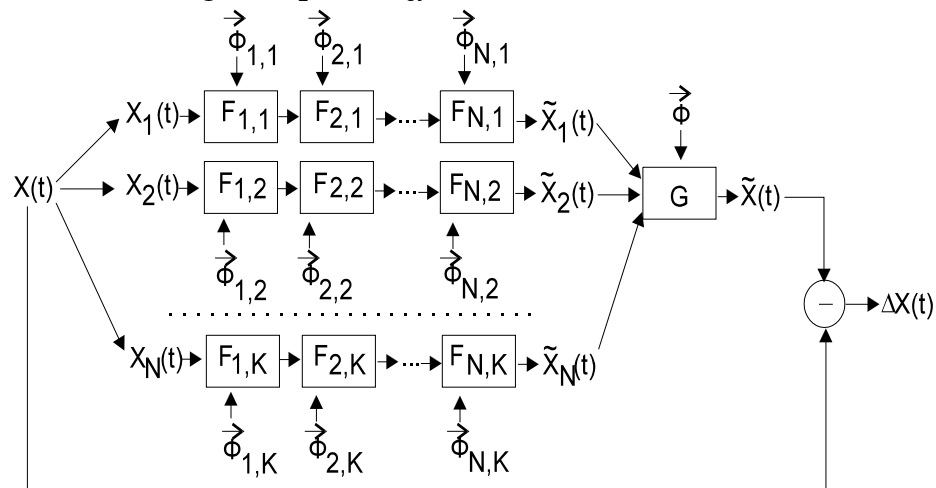


Рис. 1. Схема имитационного эксперимента

В общем случае, (3) представляет собой существенно нелинейную функцию многих переменных. Схема имитационного эксперимента, реализующего модель (1-3) и позволяющего вычислить эту функцию, приведена на рис. 1. Задача определения предельных метрологических характеристик измерительной системы сводится к нахождению глобальных экстремумов этой функции.

Так же, в соответствие с принципами, рассмотренными в /6/, возможно исследование не только полной группы погрешностей, но любых ее подгрупп и отдельных составляющих.

3. Моделирование нормируемых статических и динамических характеристик компонентов. Моделями факторов, соответствующих нормируемым метрологическим характеристикам компонентов, являются:

- для номинальных функций преобразования, функций влияния, АЧХ и ФЧХ аналоговых компонентов – полиномиальные и кусочно-линейные зависимости;
- для пределов допустимых отклонений – определяемые в процессе статистического эксперимента интервальные оценки случайных величин и их комбинаций.
- Моделями измеряемых величин являются:
- константы;
- аналитически задаваемые функции времени (синусоида, меандр, пилообразный и треугольные сигналы);
- случайные величины с равномерным, нормальным и экспоненциальным законами распределения;
- случайные процессы с АКФ линейного, экспоненциального и синусоидально-экспоненциального видов;
- их аддитивно-мультипликативные комбинации (например, «зашумленный меандр»).

4. Моделирование «неодновременности» измерительных процедур. Одним из обычно игнорируемых факторов, влияющих на результат измерений, является то обстоятельство, что преобразование (2) имеет дискретный характер, причем $\tilde{X}(t_0) = G(\tilde{X}_1(t_1), \tilde{X}_2(t_2) \dots \tilde{X}_K(t_K), \vec{\Phi})$ и $t_0 \neq t_1 \neq t_2 \neq t_K$. Фактор оказывается существенным при выполнении следующих условий:

- измерения выполняются «процессорным» (в терминах работы /6/) средством измерений;
- управление компонентами измерительно-вычислительной цепи производится в синхронном режиме;
- динамические характеристики компонентов (например, время преобразования АЦП) таковы, что «апертурная» составляющая полной погрешности прямых измерений сравнима по величина с остальными составляющими.

В ранних версиях системы имитационного моделирования (например, ООС ПСИ - см. /7/) использовалась однозадачная модель процесса управления измерениями. Показано (на примере канала измерения биений вала АСУ ТП Жигулевской ГЭС), что в этом случае «апертурная» составляющая может достигать 15% от полной. В настоящей работе предусмотрено моделирование измерений в условиях вытесняющей многозадачности с вычислительными

процессами, необходимость выполнения которых возникает в моменты времени, повторяющиеся через равные интервалы времени.

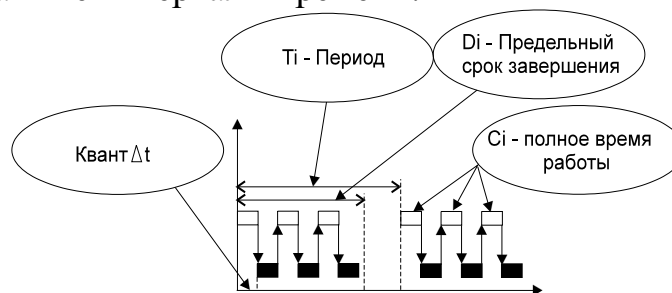
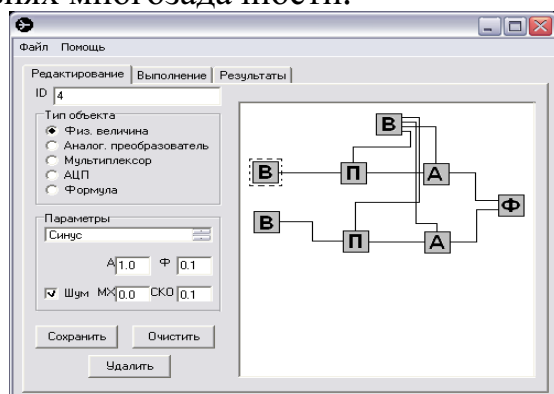


Рис. 2. Модель периодических задач с директивными сроками завершения работ

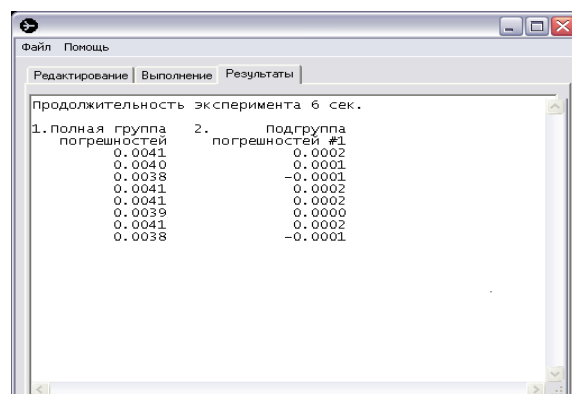
На рисунке: T_i – период повторения i -ой задачи; C_i – полное время, за которое i -я задача выполняет свою работу (например, открывает вентиль трубопровода); $D_i \leq T_i$ – предельный срок завершения i -ой задачи, превышение его недопустимо; Δt – квант времени, выделяемый каждой задаче для непрерывного выполнения. Моделируются дисциплины приоритетной диспетчеризации четырех типов:

- Round Robin – «круговорот»;
- Rate Monotonic (RM) – алгоритм с монотонно возрастающей частотой выполнения задач;
- Earliest Deadline First (EDF) – алгоритм приоритетности раннего завершения;
- «старение приоритетов», характерное для UNIX.

5. Реализация. Первые версии системы были реализованы в 1990-х годах в среде MS-DOS (см. /7/). Существуют версии, представляющие собой библиотеки виртуальных приборов LabVIEW, моделирующих компоненты измерительных каналов (см. /8/). Рассмотренные выше принципы моделирования реализуются в очередной, новой версии автоматизированной системы (см. рис. 3). Ее основное отличие от более ранних версий – моделирование работы измерительных систем в условиях многозадачности.



а) Редактирование структуры



б) Отображение результатов

Рис. 3. Примеры работы системы

Возможны три режима работы системы.

Режим редактирования структуры (см. рис. 2, а) позволяет описать структуру системы в виде леса корневых деревьев, вершинами которого являются измеряемые и влияющие величины (объекты типа «В»), аналоговые преобразователи (объекты типа «П»), мультиплексоры (объекты типа «М»), АЦП (объекты типа «А») и формулы (объекты типа «Ф»). Так же на этом этапе описываются технические характеристики компонентов, свойства измеряемых и влияющих величин,

коэффициенты формул, параметры моделируемых алгоритмов диспетчеризации и т.п.).

В режиме выполнения производится имитационное моделирование описанной системы и сбор числовых результатов работы.

Наконец, в последнем режиме существует возможность визуального просмотра и сохранения зарегистрированных результатов имитационного моделирования.

Заключение. Планируется использование системы в учебном процессе кафедры ИСТ СГАУ – в рамках учебной дисциплины «Системы реального времени», а так же для определения технических характеристик подсистем измерений АСНИ, разрабатываемых и реализуемых в процессе НИР.

Литература

1. ГОСТ 8.009-84. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений.

2. МИ 222-80. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов.

3. МИ 2168-91. ГСИ. Системы измерительные информационные. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов по метрологическим характеристикам линейных аналоговых компонентов.

4. РД 153-34.0-11.201-97. Методика определения обобщенных метрологических характеристик измерительных каналов ИИС и АСУ ТП по метрологическим характеристикам агрегатных средств измерений.

5. МУ 25.750-85. Методы нормирования, определения и контроля метрологических характеристик алгоритмов цифрового преобразования измерительной информации в ИВК.

6. Цветков Э.И., Хуснутдинов Г.Н., Соболев В.С. и др. Метрологический анализ процессорных измерительных средств с помощью имитационного моделирования: алгоритмы и требования к программному обеспечению // Измерения, контроль, автоматизация. – №4, 1986.

7. Климентьев К.Е. Автоматизированная система для оценивания точностных и динамических характеристик программно-управляемых подсистем измерений: дис. канд. техн. наук / Самар. гос. аэрокосм. ун-т. – Самара, 2000. – 181 с.

8. Климентьев К.Е. Средство для автоматизированного оценивания метрологических характеристик измерительных систем // Информационные технологии моделирования и управления. Международный сборник научных работ. Выпуск 17. – Воронеж, изд-во «Научная книга», 2004. – С. 132-137.