

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПРОСА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫХ ПОДСИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Климентьев К.Е.

Введение. Одной из составляющих полной абсолютной погрешности измерений в динамическом режиме функционирования программно-управляемых подсистем измерений (ПСИ) является погрешность датирования отсчетов. Причинами ее возникновения являются динамические свойства как аналоговых компонентов, входящих в состав измерительных цепей, так и алгоритмов программного опроса измерительных каналов (ИК) ПСИ. В частности, при циклическом опросе ИК возникает так называемый эффект “косо́го временного сечения”.

Предлагается ряд алгоритмов, позволяющих снизить влияние этого эффекта в программно-управляемых многоканальных ПСИ. Также предлагаются средства для исследования характеристик этих алгоритмов.

Постановка задачи. Рассмотрим ПСИ, предназначенную для циклических измерений K параметров с равномерной и одинаковой номинальной частотой дискретизации. Для простоты будем считать, что разница между номинальным моментом дискретизации и его реальным значением (погрешность моментов дискретизации) постоянна по всей совокупности реализаций для каждого конкретного ИК и равна номеру ИК:

$$\forall n = \overline{1, N}, \forall k = \overline{1, K}: \Delta t = t_{nkp} - t_{nki} = k, (1)$$

где n - номер реализации; k - номер ИК; t_{nki} - n -й номинальный момент дискретизации измеряемого параметра по k -му ИК; t_{nkp} - n -й реальный момент дискретизации по k -му ИК; N - общее количество реализаций (циклов опроса измеряемых параметров) на временном интервале измерений; K - количество ИК ПСИ. В роли “критерия качества” алгоритма опроса будем использовать математическое ожидание m_k и дисперсию σ_k^2 погрешности моментов дискретизации для k -го измеряемого параметра.

1. Алгоритм типа *round robbin* [1]. При циклическом измерении k параметров с постоянной последовательностью опрашиваемых ИК временной сдвиг для k -го ИК равен k . В этом случае

$$m_k = k \quad (2)$$

$$\sigma_k^2 = 0 = \text{const} \quad (3)$$

Влияние эффекта “косо́го временного сечения” возрастает с увеличением номера опрашиваемого ИК в течение одного цикла опроса. Досто-

инством данного алгоритма является исключительная простота реализации.

2. Алгоритм перебора всевозможных инверсий. Оптимальным с точки зрения выбранных "критериев качества" представляется алгоритм, обеспечивающий "пробегание" всеми опрашиваемыми ИК всех возможных позиций в последовательности опроса. Количество всевозможных вариантов перераспределения номеров ИК равно $K!$, при этом каждый ИК успевает побывать на каждой позиции $K-1$ раз. Соответственно,

$$m_k = (K+1)/2 = \text{const} \quad (4)$$

$$\sigma_k^2 = (K^2 - 1) / 12 = \text{const} \quad (5)$$

Но эффект применения алгоритмов, генерирующих всевозможные инверсии последовательности опроса ИК, проявляется только по истечении по крайней мере $K!$ циклов опроса, что представляется неприемлемым уже при значениях K , больших 3.

3. Алгоритмы попарных инверсий. Для $K > 3$ предлагаются комбинированные алгоритмы опроса ИК ПСИ. Суть их заключается в том, что все множество номеров ИК разбивается на группы по N элементов. Опрос ИК каждой группы выполняется последовательно в соответствии с заранее определенным порядком, а внутри каждой такой группы - в соответствии с алгоритмом перебора всевозможных инверсий. Интерес представляют способы распределения номеров ИК по группам. Фактически, требуется осуществить разбиение множества из K последовательных натуральных чисел $1, 2, \dots, K$ на L групп таким образом, чтобы математическое ожидание (и, возможно, дисперсия) подмножества чисел внутри каждой такой группы были бы по возможности одинаковыми (для простоты считается, что K кратно L , а внутри каждой группы содержится по $N = K/L$ ИК). Будем рассматривать только варианты алгоритмов с $N=2$, как наиболее просто реализуемые в ПСИ реального времени.

3.1. Алгоритм симметричных инверсий. Этот алгоритм предусматривает перестановку порядка опроса для пар ИК с номерами вида $(k, K+1-k)$, $k = 1, K/2$. В этом случае:

$$m_k = (K+1)/2 = \text{const} \quad (6)$$

$$\sigma_k^2 = (2k - (K+1))^2 / 4 \quad (7)$$

3.2. Алгоритм равноудаленных инверсий. Этот алгоритм основан на перестановках порядка опроса для пар ИК с номерами вида $(k, k+K/2)$, $k = 1, K/2$. Для этого алгоритма:

$$m_k = k + K/4 \quad (8)$$

$$\sigma_k^2 = K^2 / 16 = \text{const} \quad (9)$$

Случай стохастизма погрешностей моментов дискретизации. Задача исследования характеристик различных алгоритмов циклического

опроса ИК существенно усложняется, если условие (1) не выполняется, и значения временных задержек, возникающих в аппаратных и программных компонентах ПСИ, могут быть представлены в виде случайных величин (или, возможно, даже функций от значений измеряемых параметров). Для решения задачи в этом случае могут быть использованы средства, базирующиеся на методах имитационного моделирования сложных дискретно-непрерывных систем.

В лаборатории АСНИ СГАУ разработана и используется в течение ряда лет проблемно-ориентированная система ООС ПСИ, предназначенная для оценивания точностных (ТХ) и динамических характеристик (ДХ) программно-управляемых ПСИ методами имитационного моделирования. Общая характеристика модели предметной области, на которой базируется ООС ПСИ, а также описание принципов функционирования системы приведены в [2].

Средствами ООС ПСИ исследуются следующие ТХ и ДХ ПСИ: 1) полные погрешности измерений в динамическом режиме; 2) моменты "особых событий", возникающих в процессе функционирования ПСИ (например, реальные моменты дискретизации в ИК ПСИ); 3) длительности "особых состояний" ПСИ (например, длительности временных задержек между номинальными и реальными моментами дискретизации в ИК ПСИ). Для них оцениваются экстремальные значения (максимальное и минимальное), рассчитываются точечные оценки (математическое ожидание и дисперсия), коэффициенты корреляции, а также обеспечивается возможность проверки гипотез о соответствии выборочных распределений ТХ и ДХ тому или иному закону (по критерию χ^2).

Приведем пример использования ООС ПСИ для исследования зависимости погрешностей моментов дискретизации от алгоритма опроса ИК в следующей ПСИ: 1) ПСИ предназначена для измерения в нормальных условиях с номинальной частотой дискретизации 10 Гц на временном интервале [0, 10с] четырех физических величин, представляющих собой линейно возрастающие от -7 В до 7В напряжения; 2) комплекс технических средств ПСИ включает ПЭВМ, крейт-контроллер ФК-4410, крейт КАМАК, а также коммутатор ФК-79 и аналогово-цифровой преобразователь АЦП-14, выполненные в стандарте КАМАК; 3) временные задержки, вносимые работой управляющих программных компонентов ПСИ, считаются пренебрежимо малыми; 4) управляющее программное обеспечение реализовано в среде OS-9000 /4/ с разрешающей способностью программного таймера 0.002 с.

При моделировании было принято, что длительности всех аппаратных задержек в ПСИ (например, длительность интервала коммутации), распределены равномерно в пределах от 0 до их предельного значения, приведенного в документации на оборудование.

В соответствии с методикой исследования ТХ и ДХ ПСИ средствами ООС ПСИ [3], на первом этапе модель ПСИ описывается на проблемно-ориентированном языке спецификаций ЯОЗИ (версия 2.1). Текст описания содержит следующие разделы: 1) раздел объектов, содержащий определения простых объектов; 2) раздел связей; 3) раздел определения сложного объекта в терминах “вход-выход”; 4) раздел плана эксперимента, содержащий перечни “определенных событий” и “определенных состояний”, а также список измеряемых величин, для которых оцениваются погрешности измерения. Для рассматриваемой в примере ПСИ фрагмент раздела объектов, содержащий описание коммутатора и программы управления, выглядит так:

(* Описание коммутатора ФК-79 *)

СОЗДАТЬ ОБЪЕКТ КОМ.1

(* Количество коммутируемых ИК *)

Н1:=4

(* Длительность интервала коммутации - случайная величина, распределенная равномерно на интервале [0с,0.025с] *)

ОР(@):=RAVM(@,0.,0.025)

КОНЕЦ ОБЪЕКТА

(* Описание управляющей программы *)

СОЗДАТЬ ОБЪЕКТ ПУ.1

ОР1(@):=REA(@)

ОР2(@):=REA(@)

(* Алгоритм типа round robbin *)

АЛГОРИТМ:=1

КОНЕЦ ОБЪЕКТА

По оттранслированному в объектный код описанию задачи исследования генерируется статичный информационный образ модели ПСИ в памяти ЭВМ. В ходе имитационного эксперимента моделируется динамика функционирования ПСИ, а именно производится пересчет значений моментов модельного времени и атрибутов объектов, составляющих образ ПСИ. На этом этапе также регистрируется информация, необходимая для оценивания конкретных ТХ и ДХ ПСИ.

Результаты моделирования для рассматриваемого примера приведены в таблице.

k	Round robbin		Симметр. инверсии		Равноудален. инверсии	
	m_k	σ_k^2	m_k	σ_k^2	m_k	σ_k^2
1	0.01325	0.00005	0.03526	0.00070	0.02940	0.00032
2	0.02785	0.00010	0.03347	0.00022	0.03145	0.00037
3	0.04128	0.00012	0.03670	0.00023	0.03841	0.00038
4	0.05242	0.00020	0.03345	0.00050	0.04250	0.00030

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Сорокин С. Системы реального времени // Современные технологии автоматизации. - 1997. - №2. - С. 22-29.
2. Климентьев К.Е. Объектно-ориентированные программные средства для оценивания точностных и динамических характеристик программно-аппаратных измерительных систем методами имитационного моделирования // Вестник Самарского аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева. Серия: Актуальные проблемы радиоэлектроники /СГАУ. -1999 - Вып. 1.-С. 83-88.
3. Объектно-ориентированная система для исследования программно-аппаратных подсистем измерений АСНИ. Методические указания к лабораторному практикуму. Сост.: Орищенко В.И., Климентьев К.Е.- Самара, НПЦ Авиатор, 1993.- 28 с.
4. Баландин А.В., Климентьев К.Е.. Организация и функционирование операционной системы реального времени OS-9/9000.- Самара: Университет Нагаяновой, 1996. - 101 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ RLC-КОНТУРАХ

Сысуев А.Б., Черванёв В.Ю., Меркулов А.И.

Вынужденные колебания в нелинейных цепях весьма существенно отличаются от аналогичных колебаний в линейных цепях. Так амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) контура, содержащего нелинейную ёмкость или индуктивность, отличаются асимметрией, зависимостью резонансной частоты от амплитуды колебаний, возможностью скачкообразных изменений амплитуды при плавном изменении частоты [1]. Только нелинейные методы анализа и расчёта колебаний позволяют определить формы изменения токов и напряжений в отдельных ветвях цепи. Однако они получили ограниченное применение, обусловленное значительными затруднениями, возникающими при решении нелинейных дифференциальных уравнений, характеризующих работу нелинейной цепи.

Воспользуемся линеаризованным методом для построения АЧХ последовательного RLC-контура с нелинейной реактивностью, например L , при питании его от источника переменного напряжения с регулируемой частотой W . Аналогичный метод используется в программе Design-Lab 8.0 для моделирования магнитного сердечника с нелинейной характеристикой L [2]. С её помощью удаётся отразить влияние основных параметров кривой намагничивания сердечника, таких как намагничённость насыщения, коэрцитивная сила, магнитная проницаемость. Однако зависимости проницаемости от напряжённости подмагничивающего поля приведены только для постоянной составляющей токов катушки. Отсут-