

УДК 62.519

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВРЕМЕННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

В. А. Комаров,

канд. техн. наук, начальник группы
ОАО «Информационные спутниковые системы им. академика
М. Ф. Решетнева», г. Железногорск

А. С. Глинченко,

канд. техн. наук, профессор
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Рассмотрен способ повышения быстродействия распределенных измерительно-управляющих систем коллективного пользования путем временного разделения выполняемых системой многократных измерений. Определены общие граничные условия его эффективного применения. Приведены результаты исследования быстродействия систем по предлагаемому способу средствами математического моделирования.

Ключевые слова — многопользовательский режим, распределенные измерительно-управляющие системы, дистанционный эксперимент, удаленный доступ, Интернет.

Введение

Активное применение в научно-исследовательской и образовательной деятельности в качестве средства автоматизации экспериментальных исследований многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем (РИУС), функционирующих в режиме разделения времени, обуславливает необходимость разработки и исследования способов повышения эффективности их функционирования [1, 2]. Поиск новых решений в этом направлении ведется по архитектурам таких систем [3], по организации управления объектами исследования в них [4] и, как в данной работе, по проведению измерений.

Постановка задачи оптимизации многократных измерений

Одной из наиболее распространенных операций, выполняемых при измерении параметров и характеристик объектов исследования в целях повышения точности их оценки, является усреднение результатов многократных как «точечных» измерений, так и измеряемых зависимостей (описываемых совокупностью «точечных» измерений).

Это актуально для реальных систем, работающих с сигналами малого уровня, при оценке ими параметров сигналов в шумах и т. д. [5].

В процессе функционирования многопользовательской РИУС обслуживание каждого задания на измерительно-управляющем ЭВМ-сервере состоит из двух основных операций [6, 7]:

— установки требуемой конфигурации объекта исследования, включающей и изменение его режима работы;

— измерения параметров исследуемых сигналов — откликов объекта на подаваемое тестовое воздействие.

Обозначим соответствующие этим операциям среднее время реконfigurирования $\bar{t}_{\text{дв}}^{\text{э}}$ и однократного измерения требуемых параметров и характеристик $\bar{t}_{\text{дв}}^{\text{с}}$ объекта исследования. Их суммой определяется среднее время обслуживания заданий в базовой системе $\bar{t}_{\text{дв}}^{\text{б}}$:

$$\bar{t}_{\text{дв}}^{\text{б}} = \bar{t}_{\text{дв}}^{\text{э}} + \bar{t}_{\text{дв}}^{\text{с}}. \quad (1)$$

При проведении многократных измерений в каждом из выполняемых заданий на измери-

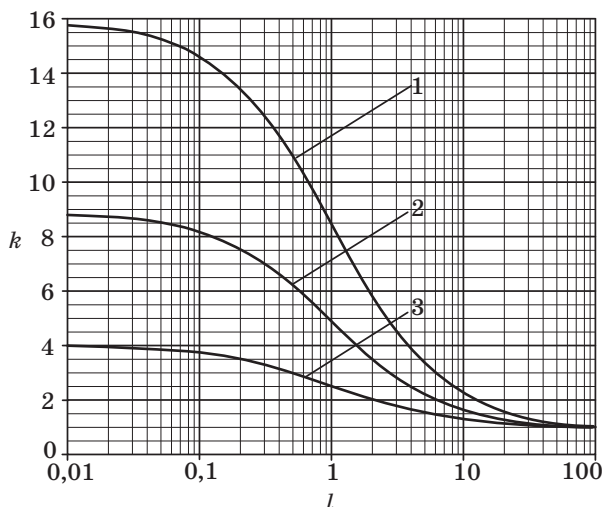


Рис. 1. Зависимость $k = f(l)$ при различном количестве усреднений: 1 — $n_y = 16$; 2 — $n_y = 9$; 3 — $n_y = 4$

тельном ЭВМ-сервере среднее время измерения $\bar{t}_{\text{еци}}^*$ и обслуживания $\bar{t}_{\text{ане}}^*$ одного задания возрастают пропорционально числу циклов измерения и усреднения n_y :

$$\bar{t}_{\text{ане}}^* = \bar{t}_{\text{дае}} + \bar{t}_{\text{еци}}^* = \bar{t}_{\text{дае}} + n_0 \bar{t}_{\text{еци}}. \quad (2)$$

Введем также обозначения $l = \bar{t}_{\text{дае}} / \bar{t}_{\text{еци}}$, $k = \bar{t}_{\text{ане}}^* / \bar{t}_{\text{ане}}$. В соответствии с ними отношение среднего времени обслуживания заданий в системе с усреднением и в базовой системе определяется как

$$k = \frac{\bar{t}_{\text{ане}}^*}{\bar{t}_{\text{ане}}} = \frac{\bar{t}_{\text{еци}} (l + n_0)}{\bar{t}_{\text{еци}} (l + 1)} = \frac{l + n_0}{l + 1}. \quad (3)$$

Выражение (3) характеризует увеличение среднего времени обслуживания заданий в многопользовательских РИУС с усреднением измерений на измерительном ЭВМ-сервере от количества усреднений n_y и параметров системы, характеризуемых в общем виде переменной l .

Рассчитанные графики зависимости $k = f(l)$ для различных значений n_y представлены на рис. 1.

Увеличение среднего времени обслуживания в k раз приводит к такому же сокращению пропускной способности системы и, как следствие, к снижению ее быстродействия, степень которого в свою очередь зависит от соотношения $\bar{t}_{\text{дае}}$ и $\bar{t}_{\text{еци}}$ [6, 7]. Наиболее сильно влияет усреднение на измерительном сервере при времени $\bar{t}_{\text{еци}}$, существенно большем $\bar{t}_{\text{дае}}$, т. е. при $l \rightarrow 0$.

В связи с этим для многопользовательских РИУС, выполняющих многократные измерения с усреднением, актуальной является оптимизация проведения таких измерений, направленная на повышение быстродействия систем.

Реализация функции усреднения в РИУС

Высокую эффективность повышения быстродействия многопользовательских РИУС показало распределение функций или операций измерения, в том числе и обработки их результатов, между серверным и клиентским программным обеспечением [8].

К ним относится как усреднение результатов многократного измерения величин с неизменным на интервале наблюдения математическим ожиданием (точечных измерений), так и усреднение совокупности результатов измерения циклически повторяющихся функциональных зависимостей — реализаций сигналов, осциллограмм, вольт-амперных характеристик и др.

Последние представляются K -мерным вектором \bar{Y}_i результатов однократных измерений y_{ij} , $j = \overline{1, K}$, $i = \overline{1, n}$. При их поэлементном усреднении на измерительном ЭВМ-сервере вектор значений усредненной по n циклам измерения функциональной зависимости \bar{Y}_n находится по формуле среднего арифметического:

$$\bar{Y}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i. \quad (4)$$

Ему соответствует K усредненных значений элементов вектора $\bar{y}_{nj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}$, которые переда-

ются на ПЭВМ пользователя. Усреднение n векторов можно распространить и на точечные измерения, рассматривая результат каждого из них как вектор с единичным числом элементов $K = 1$.

Операцию вычисления среднего арифметического точечных измерений и считываемых однократно функциональных зависимостей можно возложить и на клиентское программное обеспечение ПЭВМ пользователя. Накопление результатов однократного измерения по мере поступления их на ПЭВМ пользователя в этом случае целесообразно проводить рекуррентно, используя алгоритм вычисления среднего арифметического по его значению \bar{Y}_{n-1} на предыдущем цикле усреднения:

$$\bar{Y}_n = \bar{Y}_{n-1} + \frac{1}{n} (Y_n - \bar{Y}_{n-1}). \quad (5)$$

При $n = 1$ $\bar{Y}_{n-1} = 0$. Элементы вектора текущего среднего \bar{Y}_n при этом рассчитываются как $\bar{y}_{nj} = \bar{y}_{(n-1)j} + \frac{1}{n} (y_{nj} - \bar{y}_{(n-1)j})$.

Число циклов усреднения (накопления) n выбирается исходя из требуемой точности измерения. Среднеквадратическая оценка случайной погрешности среднего значения для обоих выражений (4), (5) находится как $\sigma_{\bar{Y}_n} = \sigma_y / \sqrt{n}$, где

σ_y — среднее квадратическое значение погрешности однократного измерения. Погрешность однократного измерения можно оценивать непосредственно в процессе накопления путем статистической обработки результатов многократных измерений, вычисляя рекуррентно вектор текущих средних квадратов результатов измерений: $\bar{Y}_n^2 = \frac{n-1}{n} \bar{Y}_{n-1}^2 + \frac{1}{n} Y_n^2$ ($Y_{n-1}^2|_{n=1} = 0$) с элементами $\bar{Y}_{nj}^2 = \frac{n-1}{n} \bar{Y}_{(n-1)j}^2 + \frac{1}{n} Y_{nj}^2$ и вектор текущей выборочной дисперсии погрешности результатов измерений $S_n^2 = \frac{n}{n-1} [\bar{Y}_n^2 - (\bar{Y}_n)^2]$ с элементами $S_{nj}^2 = \frac{n}{n-1} [Y_{nj}^2 - (\bar{Y}_{nj})^2]$ (или вектор среднее квадратических значений $S_n = \sqrt{S_n^2}$ с элементами s_{nj}).

В случае равноточных измерений оценки дисперсии и среднее квадратическое значение погрешности однократных измерений находятся путем усреднения K элементов вектора текущей дисперсии S_n^2 : $\sigma_{yn}^2 = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K S_{nj}^2 = \bar{S}_n^2$, $\sigma_{yn} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{j=1}^K S_{nj}^2}$, а случайной погрешности текущих средних значений \bar{Y}_n — как $\sigma_{\bar{Y}_n} = \sigma_{yn} / \sqrt{n}$.

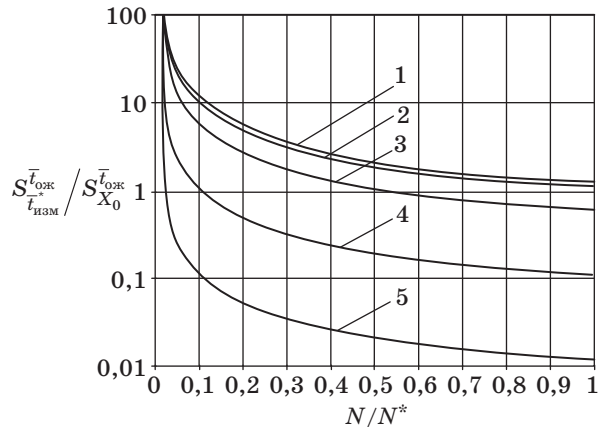
При использовании предлагаемого подхода среднее время измерения на измерительном ЭВМ-сервере при фиксированном числе циклов усреднения n_y сокращается в n_y раз, а среднее время обслуживания задания $\bar{t}_{\text{дан}}^*$, таким образом, — в k раз и соответствует его значению в системе без усреднения. Однако при этом нужно учитывать, что данное решение приводит в свою очередь к увеличению в n_y раз и необходимого числа обращений (X_0) каждого пользователя к измерительному ЭВМ-серверу.

Анализ быстродействия РИУС при обработке результатов измерения на ПЭВМ пользователя

Для оценки влияния временного разделения многократных измерений на быстродействие многопользовательских РИУС, характеризуемое средним временем ожидания результатов измерения $\bar{t}_{\text{дан}}^*$, целесообразно использовать относительные коэффициенты параметрической чувствительности [7]

$$S_{\bar{t}_{\text{дан}}^*}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*} = \frac{\partial \bar{t}_{\text{дан}}^*}{\partial \bar{t}_{\text{дан}}^*} \frac{\bar{t}_{\text{дан}}^*}{\bar{t}_{\text{дан}}^*}; \quad S_{X_0}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*} = \frac{\partial \bar{t}_{\text{дан}}^*}{\partial X_0} \frac{X_0}{\bar{t}_{\text{дан}}^*}.$$

Ввиду сложной функциональной зависимости среднего времени ожидания от параметров $\bar{t}_{\text{дан}}^*$,



■ **Рис. 2.** Зависимость $S_{\bar{t}_{\text{дан}}^*}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*} / S_{X_0}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*} = f(N/N^*)$ при различных соотношениях $\bar{t}_{\text{дан}}^* / \bar{t}_{\text{дан}}^*$: 1 — $m = 0,01$; 2 — $m = 0,1$; 3 — $m = 1$; 4 — $m = 10$; 5 — $m = 100$

N , X_0 , Δt [6, 9]: $\bar{t}_{\text{дан}}^* = f(\bar{t}_{\text{дан}}^*, N, X_0, \Delta t)$, где N — число пользователей; Δt — рассматриваемый временной интервал функционирования. Расчет относительных коэффициентов параметрической чувствительности произведен методом численного дифференцирования на основе математической модели, базирующейся на представлении функционирования многопользовательской РИУС в виде системы массового обслуживания [6, 7, 9].

Расчитанные графики зависимостей отношения $S_{\bar{t}_{\text{дан}}^*}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*} / S_{X_0}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*}$ от отношения N/N^* в системе с выполнением усреднений на измерительном ЭВМ-сервере для различных значений $m = \bar{t}_{\text{дан}}^* / \bar{t}_{\text{дан}}^*$ представлены на рис. 2. Величина N^* характеризует количество пользователей, соответствующее насыщению системы [10].

Результаты расчета показывают, что при определенном сочетании параметров системы влияние изменения величины $\bar{t}_{\text{дан}}^*$ на ее быстродействие более существенно, чем влияние X_0 .

Критерием целесообразности использования предлагаемого способа реализации усреднений на ПЭВМ пользователя по выражению (5) в многопользовательских РИУС является выполнение неравенства

$$S_{\bar{t}_{\text{дан}}^*}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*} / S_{X_0}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*} > 1.$$

В этом случае уменьшение среднего времени измерения и увеличение числа измерений при условии равенства их относительных изменений ($\partial \bar{t}_{\text{дан}}^* = \partial X_0$) обеспечивает повышение быстродействия многопользовательских РИУС

в $\partial \bar{t}_{\text{дан}}^* \frac{S_{\bar{t}_{\text{дан}}^*}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*}}{S_{X_0}^{\bar{t}_{\text{дан}}^*}}$ раз.

Оценка эффективности временного разделения измерительных операций

В процессе исследований оценка эффективности предлагаемого способа проведена на математической модели многопользовательской РИУС [6]. В качестве исходной рассмотрена система, функционирующая на временном интервале $\Delta t = 3600$ с и выполняющая измерения по запросам пользователей с фиксированным числом циклов усреднения $n_y = 10$, характеризуемая следующими параметрами:

$$\bar{t}_{\text{дл}} = 0,5 \text{ с}; \bar{t}_{\text{еци}} = 5 \text{ с}; X_{01} = 15.$$

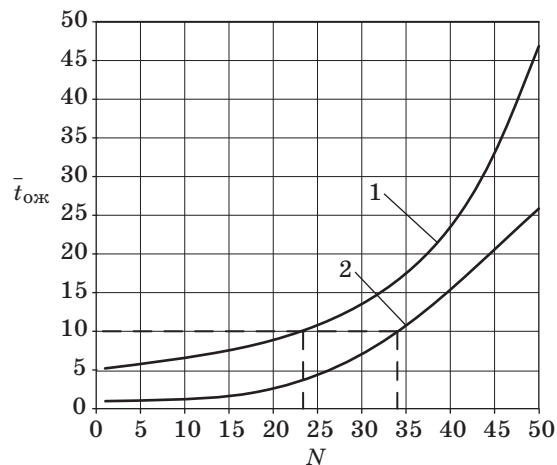
При использовании предлагаемого подхода исходная система преобразуется в систему со следующими параметрами:

$$\begin{aligned} \bar{t}_{\text{дл}}_2 &= \bar{t}_{\text{дл}}_1 = 0,5 \text{ с}; \\ \bar{t}_{\text{еци}}_2 &= \bar{t}_{\text{еци}}_1 / n_0 = 0,5 \text{ с}; \\ X_{02} &= X_{01} n_y = 150. \end{aligned}$$

Выведены графики зависимостей среднего времени ожидания результатов измерения для N одновременно работающих пользователей в исходной многопользовательской РИУС и в системе с применением предложенного способа реализации усреднения (рис. 3).

Результаты исследования подтверждают эффективность применения предложенного способа временного разделения измерительных операций. Так, в рассматриваемой системе оно обеспечивает сокращение среднего времени ожидания результатов измерения с 17 до 10 секунд при одинаковом числе одновременно работающих пользователей ($N = 34$), что также равносильно при сохранении на прежнем уровне среднего времени ожидания результатов измерения ($\bar{t}_{\text{ож}} \approx 10$ с) увеличению допустимого числа одновременно работающих пользователей с 23 до 34 человек.

Выбор режима обслуживания заданий в системе может осуществляться как самим пользователем [11], так и автоматически посредством вычисления на сетевом или измерительном ЭВМ-сервере возможного числа усреднений с учетом текущей загрузки сервера [12]. При неудов-



■ Рис. 3. Среднее время ожидания результатов измерения в системе с усреднением результатов измерения на ЭВМ-сервере (1) и в системе с усреднением на ПЭВМ пользователя (2)

летворяющей пользователя текущей точности измерений он может произвести повторные измерения с накоплением их результатов средствами клиентского программного обеспечения.

Заключение

Таким образом, по сравнению с системой, не использующей усреднения, применение разработанного способа с разделенными во времени многократными измерениями позволяет повысить точность измерения параметров и характеристик объектов исследования при допустимой степени снижения быстродействия системы, а по сравнению с системой, выполняющей многократные измерения в каждом задании, повысить ее быстродействие при той же достигаемой точности измерения. Описанное решение апробировано и внедрено в аппаратно-программном комплексе «Схемотехника аналоговых электронных устройств» [11]. Оно обеспечило повышение числа одновременно работающих пользователей в среднем на 25 %. Использование данного подхода в совокупности с рассмотренными ранее [3, 4] расширяет перечень возможных решений, направленных на обеспечение требуемых показателей функционирования систем на этапе их проектирования.

Литература

1. Fujii N., Koike N. A time-sharing remote laboratory for hardware design and experiment with shared resources and service management // 6th Intern. Conf. ITNET 2005, 7–9 July 2005. P. T2B-5–T2B-10.
2. Сарафанов А. В., Комаров В. А., Суковатый А. Г. и др. Изучение физических эффектов с использованием дистанционных технологий // Информатизация образования и науки. 2012. № 4. С. 49–63.

3. Комаров В. А., Глинченко А. С., Сарафанов А. В. Распараллеливание функциональных операций в многопользовательских распределенных измерительно-управляющих системах // Датчики и системы. 2012. № 4. С. 2–5.
4. Комаров В. А., Сарафанов А. В. Оптимизация операций управления в многопользовательских распределенных измерительно-управляющих системах // Информационно-управляющие системы. 2011. № 3. С. 52–56.
5. Глинченко А. С., Комаров А. В. Исследование случайных погрешностей спектрально-веса измерения параметров сигналов // Цифровая обработка сигналов. 2011. № 4. С. 7–11.
6. Комаров В. А., Глинченко А. С., Сарафанов А. В. Повышение эффективности эксплуатации многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем // Вестник Воронежского ГТУ. 2008. № 10. С. 186–189.
7. Комаров В. А., Сарафанов А. В. Разработка математической модели многопользовательского режима функционирования аппаратно-программных комплексов с удаленным доступом // Информационные технологии. 2009. № 3. С. 67–74.
8. Глинченко А. С., Егоров Н. М., Комаров В. А., Сарафанов А. В. Исследование параметров и характеристик полупроводниковых приборов с применением интернет-технологий: учеб. пособие. — М.: ДМК-Пресс, 2008. — 352 с.
9. Takagi H. Queueing analysis. A foundation of performance evaluation. Vol. II. Finite Systems. — Amsterdam: North-Holland, 1993. — 560 p.
10. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / пер. с англ. под ред. Б. С. Цыбакова. — М.: Мир, 1979. — 600 с.
11. Глинченко А. С. и др. Аппаратно-программный комплекс с удаленным доступом «Схемотехника аналоговых электронных устройств» // Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments: сб. тр. VII науч.-практ. конф. М.: РУДН, 2008. С. 494–496.
12. Пат. 2406140 Российская Федерация, МПК G06G 7/48, G01R 31/00, G06F 19/00. Способ тестирования территориально-удаленных объектов / А. С. Глинченко, В. А. Комаров, А. В. Сарафанов; заявл. 30.09.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 34. — 8 с.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи.

Процедуры согласования текста статьи могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (80x@mail.ru).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию, при необходимости доработать статью — рецензию. Рукописи не возвращаются.

Редакция журнала напоминает, что ответственность за достоверность и точность рекламных материалов несут рекламодатели.