

спектра. В этом случае требуется в среднем на 25 % больше времени на накопление, если ускоряющее напряжение и длину времяпролетного анализатора выбирают независимо от характеристик МВА, что и имеет место на практике. Метод 5 лишен этого недостатка, и при этом методы 2 и 4 можно реализовать программно. Анализируя относительные погрешности $\sqrt{Df_m}/f_m$ обоих методов, можно определить, какую программу (по методу 2 или 4) следует реализовать.

Пусть m — номер интересующего канала. Выбирается тот результат из двух методов, который имеет минимум $\sqrt{Df_m}/f_m$. Для метода 4

$$\frac{\sqrt{Df_m}}{f_m} = \left(\frac{e^{\lambda\tau}}{\lambda T f_m} \right)^{1/2}. \quad (13)$$

Для метода 2 рассмотрим случай влияния канала k на канал $m < k$:

$$\frac{\sqrt{Df_m}}{f_m} = \left[\frac{1 + \frac{c_{km} f_k}{a_m f_m} \left(1 + \frac{c_{km}}{a_k} \right)}{\lambda T f_m \left(1 - e^{-\frac{1}{n}\lambda\tau} + e^{-\frac{m}{n}\lambda\tau} \right)} \right]^{1/2}, \quad (14)$$

где
$$c_{km} = \lambda T e^{-\frac{k-m}{n}\lambda\tau} \left(1 - e^{-\frac{1}{n}\lambda\tau} \right). \quad (15)$$

Из формул (13) — (15) видим, что по критерию $\sqrt{Df_m}/f_m$ при одних условиях эффективен метод 2, а при других — метод 4. Так, при неравенстве

$$\frac{f_k}{f_m} < \frac{e^{\lambda\tau} \left(1 - e^{-\frac{1}{n}\lambda\tau} + e^{-\frac{m}{n}\lambda\tau} \right) - 1}{\frac{c_{km}}{a_m} \left(1 + \frac{c_{km}}{a_k} \right)}$$

эффективен метод 2, а при обратном — метод 4.

Автор выражает признательность Е. Г. Звереву, А. И. Дряпнову за полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Macfarlane R. D., Torgerson D. F. Californium-252 plasma desorption mass-spectrometer // Science.— 1976.— N 191.— P. 920.
2. Данилевич В. В., Новиков Е. В. Многоканальные системы статистического временного анализа случайных потоков сигналов (обзор) // ПТЭ.— 1987. — № 3.
3. Лизоркин П. И. Курс дифференциальных и интегральных уравнений с дополнительными главами анализа.— М.: Наука, 1981.
4. Hedin A., Hakansson P., Sundqvist B. U. R. Event mixing effects in fast heavy-ion-induced desorption time of flight mass-spectrometry // Int. J. Mass-Spectr. Ion Proces.— 1986.— 70.— P. 203.

Поступила в редакцию 13 декабря 1989 г.

УДК 681.3.019

В. А. ВИТТИХ, В. А. КИРЕЕВ, О. П. СКОБЕЛЕВ
(Куйбышев)

КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМ СБОРА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Существуют многочисленные явления, процессы и технические объекты, изучение которых связывается с необходимостью измерения сотен, тысяч и даже десятков тысяч физических параметров, преобразуемых с помощью датчиков, причем среди них подавляющее большинство составляют группы однородных параметров. В результате средства сбора

измерительной информации, включенные в состав систем автоматизации исследовании или испытаний такого рода объектов, характеризуются повышенным энергопотреблением и аппаратной избыточностью, а также требуют значительных организационных усилий пользователей на приобретение или создание и эксплуатацию таких средств. В значительной степени устранить перечисленные недостатки, характерные для традиционных средств сбора, удается применением принципов построения, антистических существующим. Они предложены в работе [1] и сводятся к групповому преобразованию сигналов однородных датчиков без какой-либо предварительной нормализации, к коммутации в цепях питания датчиков параметрического типа и интегрализации в одном модуле группового и аналого-цифрового преобразователей. Построенные таким образом устройства сбора ориентированы только на естественные выходные сигналы группы однородных датчиков (терморезисторов или термопар, индуктивных или емкостных датчиков и т. п.). В комплексы технических средств (КТС), предназначенных для сбора аналоговых сигналов всего множества датчиков, установленных на объекте, будут входить различные модули группового преобразования, каждый из которых обеспечивает ввод сигналов только для одного однородного подмножества.

Большое число физических параметров, сложность идентификации информации и организации правильного выполнения последовательности операций ее преобразования, необходимость настройки программных средств сбора и проверки правильности их функционирования при любых изменениях множества параметров определяют также важность снижения трудоемкости создания, отладки и модифицирования программного обеспечения (ПО) средств сбора и преобразования измерительной информации. Своеобразная организация, лежащая в основе новых свойств КТС на базе модулей группового преобразования, послужила побудительным мотивом разработки нетрадиционного подхода к построению ПО сбора. В процессе разработки основных принципов построения ПО возникли обобщающие соображения методологического характера, послужившие основой ряда новых терминов, касающихся элементов комплекса как программных, так и аппаратных средств сбора и преобразования измерительной информации. Эти вопросы и нашла отражение в данной статье.

Особенность рассматриваемых объектов автоматизации состоит в том, что во множестве их измеряемых параметров существуют группы совместно обрабатываемых параметров, для которых одинаковым является набор операций сбора и преобразования измерительной информации. Каждый параметр можно описать совокупностью качественных и количественных признаков, актуальных для организации сбора. К ним относятся: признаки, характеризующие информационный образ объекта (наименование физической природы параметра, диапазон значений, частотный диапазон, разрядность цифрового кода значения); признаки управления процессом сбора (условия инициирования сбора — по команде оператора, периодический и т. п., условия завершения сбора — по команде оператора, через заданный интервал времени и т. д., частота дискретизации, кратность опроса датчиков); признаки, обозначающие операции обработки информации (поменклатура операций для того или иного параметра). Поскольку каждый из параметров, принадлежащих одной из указанных групп, имеет одинаковую совокупность признаков и их значений, то представляется целесообразным использование по отношению к таким группам известного в различных областях знаний, в том числе и в вычислительной технике и программировании, термина «кластер» [2]. Перечень параметров с их признаками, который формируется на основе анализа объекта и задач обработки информации, является исходным для определения кластеров параметров [3]. Одинаковые признаки параметров кластера обуславливают возможность использования для них одной и той же реализации каждой операции сбора.

Предлагаемый подход к разработке ПО основан на принципе информационной локализованности [4]. Применительно к ПО систем сбора этот принцип устанавливает связь кластера параметров с фиксированным набором подпрограмм, которые являются единственными операциями сбора и обработки, определенными для него. Рассматриваемый подход предполагает включение в состав ПО систем сбора программных конструкций, каждая из которых объединяет структуру данных о параметрах соответствующего кластера с процедурами (подпрограммами), выполняющими относящиеся к этому кластеру операции. Такая конструкция названа «программным кластером» [3]. Таким образом, отдельная процедура реализует одну операцию, программный кластер в целом обеспечивает выполнение сбора данных о кластере параметров.

Предлагаемый подход к разработке программных средств сбора имеет следующие особенности:

программные кластеры обеспечивают целостность и локализацию описаний параметров, используемых аппаратных средств и определенных для этих параметров операций сбора. Изменения в кластере параметров, в аппаратных средствах локализируются рамками программного кластера и поэтому не сопряжены с особыми усилиями и не затрагивают остальных частей ПО;

структуризация ПО в виде набора независимых программных кластеров, отражающая типы параметров, делает его более понятным, гибким, что облегчает разработку и сопровождение;

упрощается реализация операций сбора и обращений к ним вследствие ориентации на определенные группы параметров и структуры данных.

Разработаны средства автоматизированного построения программных кластеров для систем сбора на базе микро- и мини-ЭВМ семейства СМ ЭВМ и групповых модулей КАМАК, использование которых сокращает время реализации ПО. Их ядром является набор текстов процедур (на языках Макро-11 и Фортран) или «родовой» программный кластер, выполняющий некоторые типовые операции сбора и обработки информации: опрос датчиков, отбраковку кодов, вычисление физических значений, сравнение с установками, определение минимального, максимального и среднего значений и т. п. Путем конкретизации компонентов родového кластера в режиме интерактивной макрогенерации строятся программные кластеры, предназначенные для конкретных кластеров параметров. В процессе макрогенерации задаются номер кластера, объем измерительной информации, необходимые сведения об аппаратных средствах, номенклатура операций. В результате создается совокупность символьных файлов, содержащих процедуры и структуры данных для каждого кластера. Расширение номенклатуры операций обеспечивается включением соответствующих процедур в родовой кластер.

Кластерный подход к построению ПО сбора был реализован в системах автоматизации экспериментальных исследований и испытаний газотурбинных двигателей, СВЧ-установок и гидробассейнов [5—7]. В процессе испытаний, например, газотурбинных двигателей (ГТД) более 90 % измеряемых параметров составляют температуры и давления. Основа КТС системы автоматизации испытаний ГТД — КАМАК-модули группового преобразования сигналов терморезисторов (температура наружного воздуха), сигналов термопар и датчиков давления (температурные поля и поля давлений по сечениям двигателей) [8]. Программное обеспечение системы содержит программные кластеры, ориентированные на кластеры параметров, преобразуемых с помощью терморезисторов, термопар и датчиков давления. Программные кластеры обеспечивают сбор и отбраковку полученных данных, усреднение по времени и сечению ГТД, а также приведение к физическим значениям.

В рассмотренном примере кластеры параметров описывают поля физических величин. Известны объекты, где необходимо измерять акустические, электромагнитные и другие поля в широком диапазоне частот.

Преобразование параметров физических полей производится однотипными (однородными) датчиками. Существует большое разнообразие датчиков, представляющих конструктивную совокупность однородных чувствительных элементов (ЧЭ). В частности, известны одномерные конструкции, применяемые для измерения полей температуры и давления в тракте ГТД и получившие название «гребенки», температурные «зонды» с терморезисторами для измерения полей в жидких средах, оптические «блоки» и «линейки» с фоточувствительными элементами, «линейки» с микрофонами для контроля акустических полей [9—11]. Как частные разновидности одномерных датчиков могут рассматриваться конструкции датчиков линейных и угловых перемещений с группами ЧЭ индуктивного и емкостного типа. С помощью коммутации ЧЭ в датчиках удастся получить пилообразную модуляцию по перемещению, улучшить линейность и поднять чувствительность преобразования [12, 13]. Существуют и успешно развиваются двумерные конструкции, известные как матричные датчики. К ним относятся оптические матрицы, выполненные по интегральной технологии с высокой плотностью ЧЭ [11], матрицы терморезисторов [14] и токовых вихревых ЧЭ [15], матрицы чувствительных элементов магнитного поля [16]. Можно представить трехмерные композиции чувствительных элементов, обеспечивающие измерение объемных температурных полей, формы поверхности в статическом и динамическом состояниях и т. п.

По-видимому, такие конструкции будут совершенствоваться в дальнейшем, однако терминологической определенности по отношению к ним до сих пор нет. Отмечая терминологическое многообразие перечисленных конструкций, а в некоторых случаях и отсутствие достаточно точной терминологии, можно утверждать, что термин «кластерные датчики», подчеркивая однородность ЧЭ, удачно покрывает этот развивающийся класс первичных преобразователей. В то же время, констатируя появление цепочки понятий: «кластеры параметров», «кластерные датчики», «программные кластеры», было бы логично ввести в нее недостающее звено — «кластерные преобразователи». Этот термин относится к преобразователям, принципы построения которых кратко изложены во вступительной части статьи и подробно освещены в [1]. Он также подчеркивает ориентацию этого вида преобразователей на однородные ЧЭ, что принципиально отличает кластерные преобразователи от групповых [17], допускающих включение в них блоков нормализации.

В заключение необходимо подчеркнуть, что уже в настоящее время намечается размывание границ между элементами кластерных программно-аппаратных средств сбора и преобразования аналоговой информации. Действительно, в кластерных датчиках появляются коммутаторы из состава кластерных преобразователей (например, в интегральных фотоматрицах). В кластерные преобразователи вводятся микропроцессоры и устройства памяти, содержащие программные кластеры. Можно уверенно прогнозировать создание «интеллектуальных кластерных сенсоров», выполненных методами интегральной технологии, в которых в одной конструкции будут объединены кластерные датчики, преобразователи, микроЭВМ и программные кластеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виттик В. А., Скобелев О. П. Системы сбора и предварительной обработки информации в стандарте КАМАК // Автометрия. — 1982. — № 4.
2. Борковский А. Б. Англо-русский словарь по программированию и информатике (с толкованиями). — М.: Рус. яз., 1989.
3. Киреев В. А. Кластерное программирование систем сбора экспериментальных данных: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Куйбышев: Куйбышев. авиац. ин-т, 1988.
4. Зелкович М., Шоу А., Гэптон Дж. Принципы разработки программного обеспечения: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982.
5. Компанец В. К., Скобелев О. П. Технические средства АСНИ ГТД в стандарте КАМАК на базе микроЭВМ. — Куйбышев: Куйбышев. авиац. ин-т, 1983.
6. Киреев В. А., Райков Б. К., Скобелев О. П. Автоматизированная система конт-

- роля проходящей мощности гиротрона // Применение вычислительной техники в физическом эксперименте.— Горький: ИПФ АН СССР, 1987.
7. **Киреев В. А.** Программно аппаратные средства для сбора и предварительной обработки однородных температурных параметров // Тез. докл. III Респ. конф. «Автоматизация научных исследований».— Киев: ИК АН УССР, 1986.
 8. **Компанец В. К., Логвинов А. В., Райков Б. К. и др.** КАМАК-модули для преобразования сигналов однородных датчиков // Тез. докл. VII Всесоюз. симп. «Модульные информационно-вычислительные системы».— Новосибирск: ИЯФ СО АН СССР, 1989.
 9. **Скубачевский Л. С.** Испытания воздушно-реактивных двигателей.— М.: Машиностроение, 1972.
 10. **Зайцев Ю. Ф., Марченко А. П., Ващенко И. И.** Полупроводниковые резисторы в электротехнике.— М.: Энергоатомиздат, 1988.
 11. **Измерительные преобразователи — современное состояние и развитие // Контрольно-измерительная техника: экспресс-информация.** 1990.— № 1.
 12. **А. с. 154037 СССР.** Измеритель больших перемещений/О. П. Скобелев.— Оpubл. 1963, Бюл. № 8.
 13. **А. с. 1392350 СССР.** Устройство для измерений больших перемещений/Ю. Н. Секисов, О. П. Скобелев, К. Д. Сосняков и др.— Оpubл. 30.04.88, Бюл. № 16.
 14. **Захаров В. И., Олеск А. О., Шефтель И. Т.** Пленочные терморезисторы для гибридных микросхем и устройств микроэлектроники // Приборы и системы управления.— 1986.— № 6.
 15. **Гораздовский Т. Я., Истомин И. М., Леончик В. В. и др.** Миниатюрные преобразователи для сенсорных устройств робототехники // Приборы и системы управления.— 1988.— № 1.
 16. **А. с. 862060 СССР.** Матричный преобразователь магнитных полей/А. А. Абакумов.— Оpubл. 07.09.81, Бюл. № 33.
 17. **Хадацкий В. Е.** Управляющие машины и их применение.— М.: Энергия, 1976.

Поступила в редакцию 31 июля 1990 г.

УДК 681.518.3

А. Н. ПЛАХОТНИК

(Краснодар)

СИНТЕЗ УСТОЙЧИВЫХ МОДЕЛЕЙ КОСВЕННЫХ МНОГОПАРАМЕТРОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

К линейным моделям косвенных многопараметровых измерений в непрерывной

$$\int_a^b K(u, v) x(u) du \cong b(v), \quad v \in [c, d], \quad (1)$$

или дискретной

$$Ax \cong b \quad (2)$$

формах приводят многочисленные некорректные обратные задачи естественности, связанные с инструментальной диагностикой, неразрушающим контролем, параметрической идентификацией и автоматическим управлением сложными объектами и системами [1—4], где $x(u)$ и $x \in R_n$ — искомые векторы интересующей физической характеристики (параметра); $K(u, v)$ — интегральный (ядро) и $A \in R_{m \times n}$ — матричный операторы прямой задачи ($m \geq n$); $b(v)$ и $b \in R_m$ — векторы значений оператора (отклика). При этом в общем случае системы (1) и (2) несовместны вследствие определенной степени неадекватности модели реальной системе, т. е. существования принципиально неустранимой методической погрешности, свойственной физической природе косвенных многопараметровых измерений [4], а элементы оператора и правой части содержат инструментальные (аппроксимативные) погрешности.

Линейные модели (1) и (2) обычно являются локальными приближениями реальных нелинейных обратных задач [2—4] в некоторой огра-