

УДК 519.6

АДАПТАЦИЯ ПО ТОЧНОСТИ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С ДВУХУРОВНЕВОЙ САМООРГАНИЗАЦИЕЙ

Залевская О.В., к.т.н.,
Мирошниченко И.В.

*Национальный технический университет Украины «Киевский
политехнический институт имени Игоря Сикорского» (Украина)*

В статье рассматриваются оценки начальных и центральных одномерных моментов до 4-го порядка, полученные в СОЭД первого и второго уровней самоорганизации, могут быть использованы при вычислениях смешанных характеристик второго порядка, в основном спектральных и корреляционных функций сигналов, а также при синтезе структур СОЭД третьего уровня самоорганизации. Разработка таких систем позволяет не только структурировать данные об этапах изготовления изделия, но и хранить их на протяжении всего жизненного цикла.

Ключевые слова: информационные технологии, адаптация, системы обработки экспериментальных данных, обобщённая точность.

Постановка проблемы. Рассмотренные ранее Cals-технологии позволяли работать и создавать уже готовое изделие. Разработка системы для обработки экспериментальных данных позволило получить адаптивную систему с многоуровневой самоорганизации. Созданные системы позволяют хранить структурированные данные на протяжении всего жизненного цикла изделия.

Анализ последних исследований и публикаций. Основой научной деятельности, связанной с экспериментами в конкретной предметной проблемной области (PRAR – Problem area), в ходе которых проверяются эмпирические знания, философские идеи, гипотезы, теории и создаются концепции, являются математические модели (ММ) процессов в PRAR. В теории обобщенной точности систем вычисления статистических характеристик (СХ) по результатам измерения параметров PRAR, далее систем обработки экспериментальных данных (СОЭД), разработаны приближенные методы расчета суммарной погрешности от совокупного действия источников, описываемого математической моделью (ММ) в виде случайного процесса $\xi(t)$. Для ММ в виде стационарных нормальных $\xi(t)$ в пренебрежении аномальными ошибками выражения для

суммарной погрешности СОЭД получаются достаточно простыми и, самое главное, однозначными [1, 2].

Сложнее обстоит дело с обоснованием распределения требований к источникам погрешностей при проектировании различных СОЭД, т.е. при синтезе их структуры, так как при этом необходимо решать обратную задачу с множеством решений. Поэтому применяются приближенные методы решения, допускающие группировку помех $n(t)$ и исключение некоторых из них и т.д. Методы уменьшения погрешностей проектируемых СОЭД с адаптацией можно разбить на три группы [3].

1. Устранение источников погрешностей в месте возникновения: подавление $n(t)$ внутри этих источников (экранирование); уменьшение внутренних шумов аппаратуры; переход на более совершенную или принципиально иную элементную базу; временное, пространственное и другие виды разделения каналов для ослабления их взаимного влияния; повышение помехоустойчивости при переходе каналов связи на сложные и шумоподобные сигналы; переход на новые диапазоны передачи (миллиметровые волны, оптический диапазон) и обработки сигналов, где уровень помех резко уменьшается; термостабилизация и термоизоляция; применением интегральной технологии для уменьшения числа контактов; стабилизация источников питания и т.д.

2. Ослабление действия источников погрешностей в тех местах СОЭД, где действие их максимально. Сюда относится пространственно-временная обработка сигналов $x(t)$ для уменьшения влияния помех $n(t)$; применение принципов компенсации, инвариантности и комплексирования измерений для уменьшения аппаратурной погрешности; резервирование аппаратуры; встроенный контроль для повышения надежности, в том числе и метрологической; применение обратной связи (ОС) для уменьшения погрешностей измерений за счет уменьшения внутренних нестабильностей, подавление $n(t)$ и т.д.; термостатирование, экранирование и другая защита от различных полей; тренировка аппаратуры для выявления отказов и т.д.

3. Комбинированные методы, позволяющие устранить одни источники погрешностей и ослабить действие других. Одним из этих методов является переход к цифровой обработке $x(t)$, при которой устраняется погрешность от нелинейности и уменьшается влияние нестабильности тракта передачи. Использование интегральных схем с большим уровнем интеграции даёт возможность реализации более помехоустойчивых алгоритмов обработки (адаптивных, пространственно-временной обработки, стохастических, итерационных и т.д.) и расширяются возможности резервирования

аппаратуры за счет применения типовых элементов замены (ТЭЗ).

Цифровая обработка, в большинстве случаев, повышает обобщенную точность СОЭД при использовании структурных методов повышения точности [4], позволяющих использовать внешне-внутренней адаптации. Но при цифровой обработке появляются дополнительные погрешности от квантования [5] и погрешности алгоритмов и, самое главное, значительно расширяется полоса частот каналов связи, что усиливает влияние других погрешностей, например, от конечной скорости выполнения операций на ЭВМ.

Формулирование целей статьи. Создать отказоустойчивую систему для обработки экспериментальных данных.

Основная часть. Принимая в качестве определяющего показателя качества СОЭД погрешность вычисления статистических характеристик (СХ) по результатам измерения параметров $x(t)$, можно сформулировать требования к её измерительному каналу (ИК). В общем случае ИК представляет собой многоканальное (или многофункциональное) техническое устройство, содержащее совокупность датчиков, устройств согласования (усилителей, аналого-цифровых преобразователей и т.д.), мер, коммутаторов и линий связи, объединенных общим алгоритмом получения данных о состояниях проблемной области PRAR (Problem area) в виде именованных чисел или логических высказываний.

При оптимальной обработке выходных сигналов $x(t)$ от датчиков на фоне помех $n(t)$ СОЭД имеют возможность воздействия на объект измерений с целью приближения к экстремуму целевой функции эксперимента – погрешности, надежности, затрат ресурсов и т. д. Основными составляющими суммарной погрешности СОЭД являются погрешности датчиков, так как их принципиально невозможно охватить ОС [3]. Поэтому при проектировании адаптивных СОЭД различного уровня необходимо учитывать следующие основные принципы: применение информационных критериев эффективности адаптации; учет степени априорной неопределенности условий работы; применение вероятностных статистических методов и формализация описания СОЭД [2].

Если же плотности вероятности $W(x)$ или другие параметры $\xi(t)$ неизвестны, то принято говорить о задачах статистического синтеза в условиях априорной неопределенности. При этом всегда следует иметь в виду, что, при отсутствии априорных сведений о сигналах $x(t)$ и помехах $n(t)$, решение задачи синтеза оптимальной системы невозможно в принципе. Однако на практике всегда есть данные, основанные на предыдущем опыте, физической трактовке задачи или интуиции. Физическая трактовка относится к ключевой задаче формирования ММ, а задача получения априорных данных – к

задачам формирования баз знаний. Лучшие результаты получаются при осуществлении направленного перебора вариантов структур, опирающегося на определенные знания.

Уровень самоорганизации адаптивных СОЭД определяется рядом их свойств, причем более высокоорганизованные СОЭД опираются на большую базу знаний.

Адаптивные СОЭД *первого уровня самоорганизации* ориентированы на вычисление параметров физических величин по результатам измерений только в одной PRAR. Алгоритм работы СОЭД первого уровня выполняется фиксированной программой обработки, которая является основным инвариантом таких систем, например, экспертных.

Второй уровень самоорганизации адаптивных СОЭД должен позволять изменять программу основной обработки и некоторую часть базы знаний, часто называемую условно-постоянной информацией (классификаторы и тезаурусы), при изменении условий функционирования. Инвариантами СОЭД второго уровня являются уже значения критерия эффективности, программы оптимизации и методы повышения точности. Архитектура большинства адаптивных СОЭД второго уровня может быть представлена набором модулей информационного (ИО) и математического (МО) обеспечения.

Проектирование СОЭД *третьего уровня самоорганизации* в большинстве случаев сводится к проектированию некой двухуровневой СОЭД, в которой инвариантами являются уже метакритерии – критерии более высокого ранга, например, этические или эстетические. Исходными данными в этих СОЭД являются $x(t)$ и возможные внутренние состояния всего подмножества проектируемых СОЭД нижних уровней. К системам третьего уровня относятся так называемые “интеллектуальные САПР” с постоянно обновляемыми базами знаний.

Опыт разработки СОЭД первого уровня для обработки негауссовых $\xi(t)$ в различных PRAR даёт основания полагать, что при разработке адаптивных СОЭД второго уровня самоорганизации должны быть использованы методы повышения обобщенной точности, в частности и метод комплексирования [3]. При этом для уменьшения сроков разработки и стоимости изделия должна использоваться CALS-технология (Computer Aided Acquisition and Logistic Support) – непрерывная информационная поддержка эффективного управления на всех 7-ми этапах LT любой технической системы [6].

1) Внешнее проектирование: разработка концепции, формирование требований к системе и разработка технического задания (ТЗ) на внутреннее проектирование. Для успешного решения

задачи внешнего проектирования, называемого также инфологическим уровнем описаний (DESL – Description Level), одной из наиболее важных является проблема постоянного пополнения и обновления исходных данных ИО. Производится разработка и использование программных средств управления базами данных (СУБД), на котором решаются задачи создания ММ (концепции моделирования) СОЭД, описания ее структуры, ограничений целостности и допустимости процедур обработки. Без такого ИО идея автоматизированного внешнего проектирования СОЭД на DESL уровне может быть дискредитирована [3].

2) Второй этап (DATL – Data Level) – внутреннее проектирование является стадией разработки СОЭД, на которой происходит процесс преобразования информации об объекте проектирования на основе опыта проектирования систем-аналогов в выходную информацию для изготовления СОЭД. На DATL уровне CALS-технологии используют специализированные системы: САПР – CAD (Computer Aided Design); инженерных анализов и расчетов – CAE (Computer Aided Engineering); компьютеризированных интегрированных производств – CIM (Computer Integrated Manufacturing) или CAM (Computer Aided Manufacture); управления проектом – PDM (Product Data Management) и планирования и управления производством – ERP (Enterprise Resource Planning).

3) На третьем, наиболее формализованном, этапе изготовления (CONL) используются прогрессивные технологии изготовления элементов, сборки, настройки и регулировки СОЭД. Изготовление единичных опытных образцов и доводка их до уровня промышленного производства (серийного или массового) является одним из главных направлений этапа CONL. Объединения DATL и CONL уровней в один этап DATCONL приводит к разработке САПР на “бесбумажных носителях”, интегрированных в гибкие автоматизированные производства (ГАП) – “CID-CIM”.

- 4). Испытание СОЭД и ее промышленное производство
- 5). Эксплуатация (целевое применение)
- 6). Модернизация эксплуатируемой системы
- 7). Утилизация.

САПР – это диалоговая система, в которой диалог строится на анализе информации, полученной в результате решения строго формализованных задач на основе методов математического моделирования. Тенденция к интеграции CAD-систем и ERP-систем управления с одновременным автоматическим выделением конструктивных особенностей (Design patterns), а также появление узкого класса специализированных CAD-систем генерирования инноваций для повышения качества решения интеграционной задачи,

привели к появлению концепции Product Lifecycle Management (PLM), которая не является ни процессом в смысле его главных признаков (четкой определённости, управляемости и измеримости характеристик), ни собственно программным решением (продуктом).

В настоящее время PLM концепция характеризуется ее развитием в направлении GCE (Global Collaborative Environment – Глобальное коллективное окружение) – разработке уникальной PLM системы для всех этапов LT. Поэтому внедрение CALS-технологий невозможно без комплексного внедрения вышеперечисленных систем, так как ни одна из систем CAD/CAM/CAE, PDM, ERP не является универсальной, то есть совершенной с точки зрения разработчиков технических систем для исследования физических процессов в PRAR. При внешнем и внутреннем проектировании СОЭД содержательная сторона процедуры описания (формализации) имеет свою специфику и во многих случаях, например, в сейсмологии, гидроакустике, медицине, астрономии, физике и др., уникальна, что дает основания полагать о невозможности создания универсальной САПР, инвариантной к PRAR [2].

Информационно-измерительный подход гарантирует измеримость множеств оценок СХ в виде *результатов измерений*. В основе экспериментальных исследований в PRAR лежат измерительные преобразования сигналов $x(t)$ от датчиков СОЭД и вычисление по заданному алгоритму оценок СХ $\Theta^*[x(t)]$ как пределов выборочных средних значений $x(t)$. Это дает возможность разработать общую методику вычисления $\Theta^*[x(t)]$ и оптимально согласовать частные погрешности компонентов СОЭД, определяющие суммарную погрешность $\Delta\Theta^*[x(t)]$. Суммарная погрешность $\Delta\Theta_k^*[x(t)]$ вычисления оценки СХ k -го порядка, в которую входит и погрешность классификации, определяются общими и специфическими ограничениями.

Общие ограничения обусловлены физическим смыслом $\Theta^*[x(t)]$, уровнем развития теории и взаимодействием объектов в PRAR, что не позволяет формализовать идеальный оператор (Ideal operator) вычисления образцовой оценки $\Theta[x(t)]$. Специфическим ограничением является использование реального оператора (Real operator), зависящего от конечности объема выборки d мгновенных значений последовательностей $\{x_i(t)\}$ или ансамблей реализаций $\{x(t_i)\}$, полученных по результатам измерений.

Тогда, полагая

$$\Theta^*[x(t)] = \lim Sd[g[x(t)]],$$

где $Sd = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \vee \frac{1}{T} \int_0^T \vee \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^N$ – оператор усреднения, $d = f\{N \vee T \vee NT\}$ –

параметр, характеризующий объем данных и, исключив абстрактные (т.е. практически нереализуемые) модели, при использовании реального оператора получается оценка:

$$\Theta^*[x(t)] = Sd[g[x(t)]] \neq \Theta[x(t)]. \quad (1)$$

Разнообразие статистических измерительных задач диктует необходимость их классификации [8], особенно на этапе внешнего проектирования СОЭД при реализации PLM и GCE-технологий. Основной трудностью при использовании классификаторов [8] является получение сведений о классе $\xi(t)$, или, иначе говоря, оценки погрешности классификации принятой ММ.

Сечение $x(t)$, для описания которого используется случайная функция $\xi(t, \omega)$ двух переменных: $t \in T$ и элементарного события $\omega \in \Omega$ всего множества событий с заданной на нём вероятностью, на любом значении аргумента t является случайной величиной (СВ), заданной на основном вероятностном пространстве (ξ, P, F) , где F – алгебра событий, например, ордината отраженного зондирующего сигнала и др.

Если t – время, то семейство СВ $\xi(t, \omega)$ называют случайным процессом $\xi(t)$. При анализе случайных $x(t)$, характеризующих аномалии скорости отраженного сигнала (при радио и гидролокации, активной сейсморазведке, ультразвуковых исследованиях в медицине, вычислении параметров шероховатости в машиностроении и т.д.) необходима обработка т.н. “полей”, в которых в качестве аргумента выступает пространственная переменная l , но *математический аппарат $\xi(t)$ при изменении переменной t на l не изменяется*, а СХ этой ММ в виде могут быть определены по результатам измерений ординат СВ реализаций $\xi(t)$, например ординат шероховатости поверхности [7].

Если $\xi(t)$ представлен реализациями $\{x_i(t)\}$ и используются две независимые переменные – время t и номер реализации N , то его теоретические ВХ выражаются через 3 предела выборочных средних как статистические характеристики $\Theta[x(t)]$:

$$\Theta[x(t)] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g[x_i(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T g[x_i(t)] dt = \lim_{N \rightarrow \infty, T \rightarrow \infty} \int_0^T \sum_{i=1}^N g[x(t)] dt \cdot \quad (2)$$

При представлении $\xi(t)$ последовательностями $\{x_i(t)\}$:

$$\begin{aligned} \Theta[x(t)] &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g[x_i(t_j)] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N g[x_i(t_j)] \\ &= \lim_{N_1 \rightarrow \infty, N_2 \rightarrow \infty} \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} g[x_i(t_j)]. \quad (3) \end{aligned}$$

В аналого-цифровых СОЭД первого уровня самоорганизации внешне-внутренняя адаптация может быть произведена минимизацией

числа разрядов АЦП для достижения заданной суммарной погрешности $\Delta\Theta^*[x(t)]$ вычисления оценки $\Theta^*[x(t)]$. Для этого производится непрерывный анализ оценки плотности вероятности $W^*(x)$ – т.е. формируется “текущая гистограмма” $W[x_i(t_j)]$, по которой определяется минимальное число разрядов АЦП для достижения требуемой погрешности $\Delta\Theta^*[x(t)]$ всей СОЭД.

В таких адаптивных СОЭД оценка μ_k k -го порядка вычисляется как

$$\mu_{kA}^* = \langle g_A[x(t)] \rangle = \Delta x \sum_{i=1}^{n_{\Delta x}} [x_i(t)]^k W_i^*(x), \quad (4)$$

где μ_{kA}^* – оценка центральных μ_k^* k -го порядка, вычисляемых по адаптивному алгоритму, $W_i^*(x) = W[x_i(t_j)]$ – оценка $W(x)$ в виде “текущей гистограммы” с числом $n_{\Delta x}$ дифференциальных коридоров шириной Δx , $x_i(t)$ – квантованное значение ординаты для середины i -го дифференциального коридора шириной Δx .

В аналого-цифровых СОЭД второго уровня самоорганизации один из методов уменьшения $\Delta\Theta^*[x(t)]$ состоит в том, что в адаптивный алгоритм (4) вычисления μ_{kA}^* вводится коэффициент a *относительной коррекции* (сдвига) отсчета ординаты сигнала $x(t)$ относительно середины дифференциального коридора АЦП [9].

Вычисление μ_{kK}^* производится по алгоритму:

$$\mu_{kK}^* = \Delta x \sum_{i=1}^{n_{\Delta x}} \{ [x_{нач} + (i-1)\Delta x] a \}^k W_i^*(x), \quad (5)$$

где μ_{kK}^* – оценка скорректированного значения μ_k^* , $W_i^*(x)$ – оценка плотности вероятности для i -го дифференциального коридора шириной Δx , $x_{нач}$ – квантованное значение ординаты середины начального (первого) дифференциального коридора с фиксированной шириной Δx , a – табличные значения [10] коэффициента относительной коррекции, зависящей от вида $W_i^*(x)$.

Вычисленные по адаптивным алгоритмам (4) и (5) экспериментальные значения параметров этой ММ как оценки моментов первого и второго порядков (начальных α_k^* и центральных μ_k^*), могут быть использованы для вычисления оценок смешанных моментов второго порядка – спектральных $S(\omega)$ и корреляционных $R_x(\tau)$ функций [10].

Выводы. Оценки начальных и центральных одномерных моментов до 4-го порядка, полученные в СОЭД первого и второго уровней самоорганизации, могут быть использованы при вычислениях смешанных характеристик второго порядка, в основном спектральных и корреляционных функций сигналов, а также при синтезе структур СОЭД третьего уровня самоорганизации.

Литература

1. Марчук М.А. Обобщенная точность систем обработки экспериментальных данных / И. В. Мирошниченко // Научный журнал Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганск, 2012. – № 8 (179) Ч 2. – С 121-130.
2. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений.–2-е изд., перераб. и дополн. / Э.И. Цветков. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 286 с.
3. Детлінг В.С. Вибір параметрів адаптивних систем обробки експериментальних даних / І.В. Мірошниченко, В.І. Павленко, В.О. Тихоход // Адаптивні системи автоматичного управління: міжвідомчий науково-технічний збірник. – Київ: Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, 2012. – Вип. 20(40). – С.41-51.
4. Туз Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Ю.М. Туз. – К.: Вища школа, 1976. – 256 с.
5. Мирошниченко В.С. Погрешности от квантования при измерениях центральных моментов случайных процессов / В.С.Мирошниченко, К.Л. Серпилин // Информационно-измерительные системы. – Новосибирск, 1984. – С. 89-92.
6. Норенков И.П. Информационная поддержка наукоёмких изделий (CALS-технологии) / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд. МВТУ им. Н.Э Баумана, 2002.
7. Мирошниченко И. В. Формирование математической модели волнистости по результатам вычисления шероховатости протяженных изделий / И. В. Мирошниченко // “Технологический аудит и резервы производства”. – Харьков, 2014. – № 2/1 (16). – С. 11-15.
8. Мирошниченко И. В. Об одном способе классификации статистических измерительных задач / И. В. Мирошниченко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб. наук. праць Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова Національної академії наук України. – Кам'янець-Подільський: Національний університет ім. Івана Огієнка, 2012. – Вип. 7. – С.132-139
9. Пономаренко В.К. Повышение точности вычисления моментов высоких порядков случайных процессов с ограниченным диапазоном значений / В.С. Мирошниченко // Труды IV Всесоюзной Школы-семинара по статистической гидроакустике. – Новосибирск, 1973. – С. 123-128.

10. Харкевич А.А. Спектры и анализ [4-ое изд] / А.А. Харкевич. – М.: Физматгиз, 1962. – 201 с.

**ТОЧНІСТЬ АДАПТАЦІЇ В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ
ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ДВУХРІВНЕВОЮ
САМООРГАНІЗАЦІЄЮ.**

Залевська О.В., Мірошніченко І.В.

В статті розглядається оцінка початкових та центральних одновимірних моментів до 4-го порядку, отримані в СОЕД першого та другого рівня самоорганізації, можуть бути використані при обрахунку змішаних характеристик другого порядку в спектральних та кореляційних функціях сигналів, а також при синтезі структур СОЕД третього рівня самоорганізації. Розробка таких систем дозволяє не тільки структурувати дані про етапи виготовлення виробу, але і зберігати їх протягом всього життєвого циклу.

Ключові слова: інформаційні технології, адаптація, системи обробки експериментальних даних, узагальнена точність.

**ADAPTATION IN ACCURACY IN EXPERIMENTAL DATA
PROCESSING SYSTEMS WITH TWO-LEVEL SELF-
ORGANIZATION**

Zalevska O., Miroshnichenko I.

The article considers estimates of initial and central one-dimensional moments up to the 4th order, obtained in the first and second self-organization EEDS, can be used in calculations of second-order mixed characteristics, mainly spectral and correlation functions of signals, as well as in the synthesis of the third-level EEDS structures self-organization. The development of such systems allows not only to structure the data on the stages of manufacturing the product, but also to store them throughout the life cycle.

Key words: information technologies, adaptation, experimental data processing systems, generalized accuracy.