

УДК 681.327.12

## ИЕРАРХИЧЕСКОЕ МОРФОЛОГИЧЕСКО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

К. т. н. О. В. Пономарева, к. э. н. А. В. Пономарев, Н. В. Пономарева

Ижевский государственный технический университет  
им. М.Т. Калашникова  
Россия, г. Ижевск  
ponva@mail.ru

*Проведен анализ современного состояния развития информационно-измерительных систем функционального диагностирования объектов. Рассмотрена функционально-структурная организация таких систем. Предложено обобщенное описание информационно-измерительных систем данного класса на базе системного подхода. Сформулированы пути повышения эффективности функционального диагностирования объектов.*

*Ключевые слова: системный подход, информационно-измерительные системы, функциональное диагностирование объектов, иерархическое описание систем, морфологическо-информационное описание систем, распознавание образов.*

Диагностирование объектов, проводимое в процессе осуществления ими своих прямых функций, на основе анализа порождаемых ими сигналов (функциональное диагностирование объектов), получило широкое применение в различных областях научных исследований в силу целого ряда преимуществ перед другими методами диагностирования. Именно преимуществами и перспективностью данного метода диагностирования объясняются интенсивные теоретические и экспериментальные исследования по созданию информационно-измерительных систем (ИИС) функционального диагностирования объектов [1—4].

Современные ИИС функционального диагностирования являются сложными техническими системами и содержат подсистемы, функциональные блоки и элементы, отличающиеся по структуре, свойствам, характеру связей и параметрам [5]. Для исследования такого класса систем необходимо провести их обобщенное описание, которое отражало бы совокупность проблем их создания (в частности, создания методов, алгоритмов и средств цифровой обработки сигналов [6, 7]).

В рамках системного подхода сложную систему принято описывать с четырех точек зрения: функциональной, морфологической, иерархической и информационной. Отметим, что согласно теории сложных систем, уровни декомпозиции системы (определение границ систем различных уровней) и уровни иерархии должны совпадать.

Функциональное описание системы  $S_{\Phi}$  в рамках системного подхода характеризуется тремя конечными множествами, отражающими функции  $\Phi$ , операторы преобразования  $R$  и иерархию  $G$ :

$$S_{\Phi} = \{\Phi, R, G\}.$$

Функциональное описание ИИС диагностирования объектов, на примере виброакустического функционального диагностирования объектов, проведено в [5], где показано, что ИИС виброакустического функционального диагностирования объектов (СВФДО) включает в себя:

- объект диагностирования (ОД);
- систему обработки виброакустического сигнала (СОВАС);
- систему управления объектом диагностирования (СУОД);
- диагностическую модель (ДМ).

Подсистемами **СОВАС** являются:

- система первичных вибропреобразователей и входных цепей (**СПВ**);
- система измерения функций виброакустического сигнала (**СИФ**);
- система принятия решения и постановки диагноза (**СПР** и **ПД**);
- система распознавания образов (**СРО**).

Подсистемами **СРО** являются:

- система формирования словаря диагностических признаков (**СФС**);
- система формирования алфавита классов (диагнозов) (**СФА**);
- система классификации образов (**СКО**).

В дополнение к функциональному описанию **СРО**, приведенному в [5], сделаем одно важное замечание. Как отмечено в [3], в работах по теории распознавания образов проблема распознавания отождествляется с построением в том или другом смысле оптимальных алгоритмов распознавания, с исследованием условий, обеспечивающих возможность построения таких алгоритмов. При этом по умолчанию предполагается автономность систем распознавания образов, что, естественно, в прикладных задачах не является правомерным. Авторами работы впервые в теории распознавания образов сформулирована нетрадиционная постановка проблемы распознавания объектов, учитывающая то обстоятельство, что система распознавания образов не является в общем случае автономной. Показано, что прогресс в области разработки и применения **СРО** в составе ИИС данного класса связан с системным подходом к проблеме распознавания, разработкой ее системных аспектов.

При системном подходе к исследованию систем иерархию последних принято описывать на основе иерархии целей, качество достижения которых характеризуют эффективностью. Под эффективностью понимается свойство (качество) процесса функционирования системы, определяемое как его приспособленность к решению поставленных перед системой задач. Эффективность системы, в свою очередь, определяется показателями качества, которые разделяются на функциональные показатели  $\{\Phi\}$ , характеризующие свойства системы, полезные в смысле ее прямого назначения (ее функций), и экономические  $\{C_i\}$ , характеризующие, во-первых, затраты на реализацию требуемых свойств системы, во-вторых, экономический эффект от ее применения.

При оценивании показателей качества систем наибольшее применение нашли следующие критерии:

- пригодности  $\Gamma_1 : \bigcap_{i=1}^m (k_{i,j} \in \{k_{i,j}^{don}\})$ ;
- оптимальности  $\Gamma_1 : \bigcap_{i=1}^m (k_{i,j} \in \{k_{i,j}^{onm}\})$ ;

где  $k_{i,j}$  — показатель  $i$  свойства  $j$  системы;

$k_{i,j}^{don}$  — множество допустимых значений показателя  $k_{i,j}$ ;

$k_{i,j}^{onm}$  — множество оптимальных значений показателя  $k_{i,j}$ .

При системном подходе исследуемая система может рассматриваться как подсистема (субсистема) в системе более высокого иерархического уровня (суперсистема). В связи с этим различают внешние и внутренние критерии эффективности функционирования систем. Например, СВФДО может рассматриваться как подсистема суперсистемы проектирования и производства или суперсистемы эксплуатации объектов. В этом случае в качестве цели подсистемы целесообразно выбирать достижение соответствующей суперсистемой экстремальных значений показателей эффективности.

Главной целью создания **СОВАС** является повышение надежности и ресурса объектов, резкого сокращения расходов на их ремонт и эксплуатацию, т. е. вероятность выполнения задачи виброакустического функционального диагностирования объектов:

$$P_{\text{вып.зад}}^{\text{ДО}} = p(\Delta \mathcal{E} / C \in \{W_{\text{дон}}\}),$$

где  $\Delta \mathcal{E}$  — общий экономический эффект, полученный от применения СВФДО;  $C$  — затраты ресурсов на создание СВФДО;  $\{W_{\text{дон}}\}$  — область допустимых значений  $\Delta \mathcal{E} / C$ .

Частные цели подсистем должны определяться главной целью **СОВАС**.

Морфологическо-информационное описание системы  $S_{M,I}$  отражает элементы (подсистемы, внутри которых морфологическо-информационное описание не распространяется), свойства  $M$ , связи  $V$ ,

структуры  $E$ , композицию  $K$  и организацию системы  $I$ . Таким образом, морфологическо-информационное описание дает представление о строении и организации исследуемой системы:

$$S_{M,II} = \{M, V, E, K, I\}.$$

Морфологическое описание, как и функциональное описание, иерархично, причем уровни иерархии в их описаниях совпадают.

Элементный состав СВФДО относится к смешанным и содержит как гомогенные элементы (однотипные элементы в смысле близости их основных свойств), так и гетерогенные (разнотипные) элементы. Важным признаком морфологии являются свойства элементов, которые для СОВАС являются в основном информационными, т. е. предназначенные для приема, передачи и преобразования информации. В ИИС других видов различают также энергетические (преобразующие энергию) и вещественные (осуществляющие преобразование вещества) элементы.

Морфологические свойства исследуемой системы существенным образом зависят от назначения связей и характера связей (прямые и обратные). Для СОВАС — это в основном также и информационные связи. При этом обратные связи имеют в основном функцию управления. Для целенаправленных систем (обеспечивающих достижение цели в различных ситуациях), каковой и является СВФДО, наличие этих связей обязательно.

Структура СВФДО иерархическая, детерминированная, адаптивная. Композиционные свойства определяются способом объединения элементов в подсистемы. Композиция СВФДО определяется в основном рецепторными подсистемами (способными преобразовывать внешнее воздействие в информационные сигналы, например, СПВ) и рефлексивными подсистемами (способными преобразовывать процессы на информационном уровне).

Информационное описание должно давать представление об организации исследуемой системы. Своеобразным моментом системного подхода является введение так называемой "управляющей информации", под которой понимают совокупность сигналов, передаваемых от одной системы (подсистемы) к другой, влияющих на ее поведение и развитие.

Рассмотрим частные цели подсистем СОВАС.

Для СПВ и СИФ правомерным представляется выбор цели в виде минимизации затрат:  $\min C^{СПВ}$  и  $\min C^{СИФ}$

Для СРО в качестве цели желательно выбрать экстремальное значение критерия эффективности вида [3, 5]:

$$\max_{\rho, H} \Delta_{G_k} = \max \sum_i^{m_1} P_{np.реш.}(\theta_{i,G_k} | V_c) W(\theta_{i,G_k}),$$

где  $P_{np.реш.}(\theta_{i,G_k} | V_c)$  — оценка апостериорной вероятности правильного решения задачи распознавания, усредненная по всем значениям признаков словаря  $V_c$ ;  $W(\theta_{i,G_k})$  — значения выигрышей, получаемых суперсистемой от решений  $L = \{l_1, l_2, \dots, l_r\}$  (выдаются СПР и ПД), принимаемых по результатам решения задачи распознавания образов;  $m_1 = r + 1$ ;

$\rho$  — некоторая мера сходства;

$H$  — набор решающих правил.

На частной цели СПР и ПД следует остановиться особо.

Согласно общей постановке задачи распознавания объектов и явлений, которая предложена в [3], необходимо при формировании словаря признаков учитывать общую величину ресурсов  $C_0$ , выделенных на реализацию всех измерителей функций  $\{F_{i,X^{(\omega_j)}}\}$ ,  $i = \overline{1, p}$  ( $\{F_{i,X^{(\omega_j)}}\}$  — множество функций сигналов  $X^{(\omega_j)}$  объектов  $\omega_j$ , получаемых с помощью операторов системы  $R_i^{СИФ}$ ).

Если  $c_{v_j}$  — стоимость создания измерительного устройства, обеспечивающего определение признака  $v_j$ , то реальные затраты на создание комплекса процессорных измерительных средств (ПриС), обеспечивающих измерение признаков словаря  $V_c$  (априорный словарь), составят

$$\sum_{j=1}^N c_{v_j} = C_{реал.зат.,V_c}.$$

В том случае, когда  $C_{реал.зат.,V_c} \leq C_0$ , применяют априорный словарь  $V_c$ .

Для случая, когда  $C_{реал.зат.,V_c} > C_0$ , в [3, 5] предлагается следующий подход.

Ищется такой рабочий словарь  $V_{c,T}$ , элементы которого являются подмножеством множества элементов словаря  $V_c$ . При этом за счет сокращения признакового пространства (сокращения числа элементов рабочего словаря  $V_{c,T}$ )  $C_{реал.зат.,V_{c,T}} < C_{реал.зат.,V_c}$ .

Заметим, что при необходимости сохранения заданного уровня ошибок распознавания, сокращение признакового пространства приводит и к уменьшению алфавита классов [3, 5].

Согласно данному подходу к решению задачи распознавания целью СПР и ПД является достижение экстремального значения критерия эффективности вида

$$\max_{G_k} \max_T \Delta_{G_k} = \max_{G_k} \max_T \sum_i^{m_k} P_{пр.реш.}(\theta_{i,G_k} | V_{c,T}) \cdot W(\theta_{i,G_k}) \text{ при ограничении вида } C_{реал.зат.,V_{c,T}} < C_0.$$

Полученное обобщенное иерархическое функциональное морфологическо-информационное описание ИИС данного класса позволяет, с одной стороны, поставить и решить задачи по повышению надежности и ресурса диагностируемых объектов, резкому сокращению расходов на их ремонт и эксплуатацию, с другой — повысить вероятность выполнения задачи виброакустического функционального диагностирования объектов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов.— Москва: Техносфера, 2007.
2. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов.— Москва: ООО «Бином-Пресс», 2007.
3. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания.— Москва: Высш. шк., 1989.
4. Балицкий Ф. Я. и др. Вибродиагностика // В кн. Неразрушающий контроль: Справочник / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7, Кн. 2.— Москва: Машиностроение, 2006.
5. Пономарева В.А., Пономарева О.В. Вибродиагностика технологического состояния механических коробок передач на основе метода параметрического преобразования Фурье // Доклады 3-й МНПК «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов».— Беларусь, г. Могилев.— 2009.— С. 83—87.
6. Пономарева О. В. Развитие теории спектрального анализа дискретных сигналов на конечных интервалах в базе параметрических ДЭФ// Цифровая обработка сигналов.— 2010.— № 2.— С. 7—12.
7. Пономарева О. В. Быстрое параметрическое дискретное преобразование Фурье действительных последовательностей// Цифровая обработка сигналов.— 2012.— № 2.— С. 7—12.

O. V. Ponomareva, A. V. Ponomarev, N. V. Ponomareva

#### **Hierarchical morphological and information description of systems for functional diagnostics of objects.**

The paper presents an analysis of the current state of development of information-measuring systems for functional diagnostics. The functional and structural organization of such systems has been explored. The authors suggest a generalized description of the information-measuring systems of this class on the basis of a systematic approach and formulate ways to enhance the functional diagnosis of objects.

*Keywords: system approach, information-measuring systems, functional diagnostics facilities, hierarchical description of systems, morphological and information description of systems, pattern recognition.*