УДК 004.052

В.А. ТВЕРДОХЛЕБОВ

Институт проблем точной механики и управления РАН, Россия

СПЕКТРЫ ЧИСЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФАЗОВЫХ КАРТИН ОБЪЕКТОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Сложность, большая размерность и неоднородность процессов, происходящих в современных объектах технического диагностирования, ограничивают эффективность классических методов диагностирования. В статье выделяются особенности технического диагностирования сложных систем, рассматриваются новый способ задания фазовых картин представления, свойств, параметров и характеристик законов функционирования. Излагается метод поиска диагностических воздействий, основанный на анализе спектров фазовых картин, соответствующих работоспособному состоянию объекта и рассматриваемым его неисправностям. Анализируются свойства классов фазовых картин, построенных по совпадению свойств спектров.

спектры, диагностирование, атоматы, дискретные системы

Введение

Развитие основных положений, моделей и методов технического диагностирования стимулируется множеством факторов, в том числе расширением области приложений, новыми задачами и новыми средствами получения диагностической информации, изменением распределения ресурсов для решения основных задач (обеспечения и восстановление работоспособности, модификация, проектирование) и вспомогательных задач (проверка работоспособности и идентификация объекта диагностирования). Традиционные математические модели объектов технического диагностирования средствами тестирования задаются символьными структурами в форме таблиц, графов, матриц, логических уравнений или формул языка регулярных выражений. При таком задании моделей не используются мощные математические идеализации актуальной бесконечности, бесконечно малой величины, предельного перехода, суммирования бесконечных рядов и т.п., то есть, не используются эффективные средства борьбы с размерностью. Это означает, что имеющиеся модели и методы технического диагностирования, не использующие математические идеализации, не пригодны для диагностирования больших и неоднородных по происходящим в них процессам систем. В табл. 1 приведены некоторые специфические свойства технического диагностирования «малых» и «больших» объектов диагностирования.

При техническом диагностировании больших систем процессы функционирования, определенные моделью системы, процессы приложения диагностических воздействий и получения реакций на них размещаются на оси времени в различных сочетаниях между собой (рис. 1.).

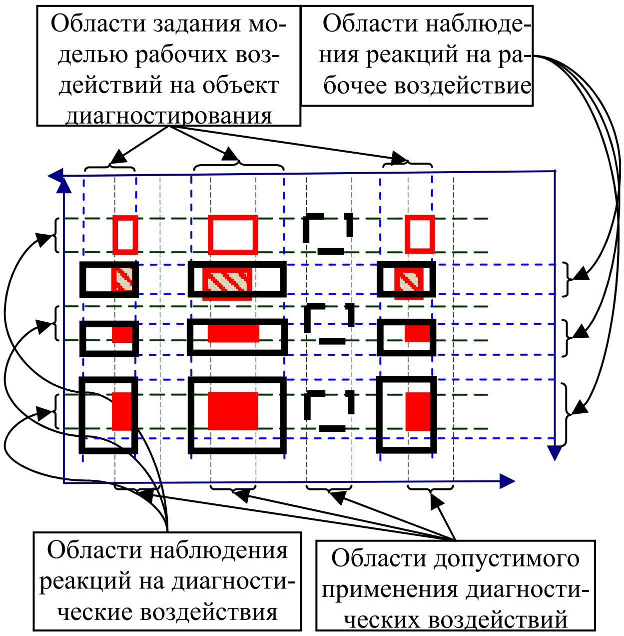

Рис. 1. Варианты совмещения диагностической информации и информации о функционировании, определяемом моделью

© В.А. Твердохлебов

– области определения модели в ее частичном задании;

– области получения диагностической информации при отсутствии данных о модели;

– области полного определения объекта диагностирования и средств диагностирования;

– области одновременного определения средств диагностирования и наблюдения рабочих воздействий на объект диагностирования;

– области определения объекта диагностирования и наблюдения рабочих реакций объекта диагностирования.

Таблица 1

Специфические свойства объекта диагностирования

	Объект диагностирования: элемент, узел и т.п.	Объект диагностирования: большая система
1	Имеется полная и точная математическая модель (таблица, матрица, граф, логическое уравнение)	Имеется только частично определённая модель в структурной, символьной или числовой форме
2	Диагностическая информация однородная (связи входных сигналов, выходных сигналов и состояний)	Диагностическая информация и средства диагностирования неоднородные: (тестирование, измерение физических параметров, визуальный осмотр, наблюдение контрольных и диагностических сигналов)
3	Применение средств диагностирования не ограничено на области определения модели объекта диагностирования	Применение (разнородных) средств диагностирования ограничено по выделенным интервалам времени и по возможностям средств диагностирования
4	Форма логического вывода по диагностической информации: – объект работоспособен – объект неработоспособен	Форма вывода по диагностической информации: – работоспособна; – работоспособна с ограничением (с указанием варианта ограничений); – неработоспособна; – подлежит выводу из эксплуатации
5	Объект диагностирования зафиксирован и не изменяется на интервалах диагностирования и прогнозирования	Объект диагностирования из-за – сложных функций, – сложной структуры, наличия неопределенности в поведении и неучтенных связях с внешней средой и т.п; изменяется как на интервале времени диагностирования, так и на интервале прогнозируемой работоспособности

Подход к техническому диагностирования больших систем

Для технического диагностирования больших систем разработан следующий подход:

1. Символьные модели объекта диагностирования (автоматные таблицы, графы, матрицы, логические уравнения) преобразуются в числовые структуры – геометрические образы, то есть, фигуры с числовыми координатами точек. Переход к числовой форме автоматных моделей позволяет применить классические методы интерполяции и экстраполяции для доопределения частичных моделей, использовать для геометрических образов аналитическое задание числовыми функциями, уравнениями. Математическую основу такого преобразования составляют замена автоматного отображения фазовой картиной, совмещение всех фазовых траекторий в единую и общую для них ломаную линию, представляющую всю фазовую картину, и размещение этой ломаной линии в главном квадранте декартовой системы координат на плоскости.

2. Разнородные средства технического диагностирования (тестирование, измерение физических параметров, визуальное наблюдение, наблюдение сигналов) совмещаются в единую форму экспериментов с автоматами. Диагностическое воздействие любой природы интерпретируется как входной сигнал, а наблюдаемая «диагностическая» реакция на него как выходной сигнал автомата. Это позволяет использовать теорию технического диагностирования "малых" объектов в диагностировании больших систем на методическом уровне

Предлагаемый и разработанный подход позволяет для построения стратегий технического диагностировании больших систем применять методы интерполяции и экстраполяции, методы задания законов функционирования геометрическими фигурами, представленными уравнениями, совмещать разнородные средства получения диагностической информации в единую форму эксперимента, исключить обязательную для символьных моделей рекурсию, существенно ограничивающую возможности построения процессов функционирования. Указанный подход с заменой символьных форм задания автоматов числовыми структурами предложен в работах [1, 2] и развита в работе [3].

Преобразование фазовой картины автомата в символьный геометрический образ

Базовой моделью является дискретная детерминированная динамическая система в виде автомата $A_S = (S, X, Y, \delta, \lambda, s)$, где S – множество состояний, X и Y – множества входных и выходных сигналов, $\delta : S \times X \to S$ – функция переходов, а $\lambda : S \times X \to Y$ – функция выходов. Уравнения динамики $s(t+1) = \delta(s(t), x(t))$ и $y(t) = \lambda(s(t), x(t))$ задают правила размещения на абстрактной целочисленной положительной оси времени сигналов и состояний. При начальном состоянии $s \in S$ поведение автомата A_S представимо автоматным отображением $\rho_S = \bigcup_{p \in X^*} \{(p, \lambda'(s, p))\}$ с расширением функции δ и λ до функций вида $\delta' : S \times X^* \to S$ и $\lambda' : S \times X^* \to Y$, где X^* и Y^* – множества всех конечных последовательностей элементов из множеств X и Y, по правилам $(\forall s \in S)(\forall x \in X)(\forall p \in X^*)$ $*\{\delta'(s,xp) = \delta'(\delta(s,x),p)\}$ и $(\forall x \in X)(\forall s \in S)(\forall p \in X^*)*\{\lambda'(s,px) = \lambda(\delta(s,p),x)\}$.

Автоматное отображение ρ_S (множество пар) упорядочивается линейным порядком ω, определенным на основе порядка ω_1 на X^* и заданным следующими правилами:

Правило 1. На множестве X вводится некоторый линейный порядок ω_1 (который будем также обозначать $\prec$).

Правило 2. Порядок ω_1 на X распространим до линейного порядка на множестве X^*

– $(\forall p_1, p_2 \in X^*)\{|p_1| < |p_2| \to p_1 \prec p_2\}$;

– для любых $p_1, p_2 \in X^*$, для которых $|p_1| = |p_2|$ & $p_1 \neq p_2$, их отношение по порядку ω_1 повторяет отношение ближайших слева несовпадающих букв в словах p_1 и p_2. Аналогично определяется порядок ω_2 на множестве слов Y^*.

Линейно упорядоченное множество (ρ_S, ω) с учетом порядка ω_2 на Y естественно представляется графиком $G(\rho_S, \omega(\omega_1), \omega_2)$ (рис.2), который будем называть геометрическим образом законов функционирования автомата A_S и обозначать γ_S^A или γ_S.

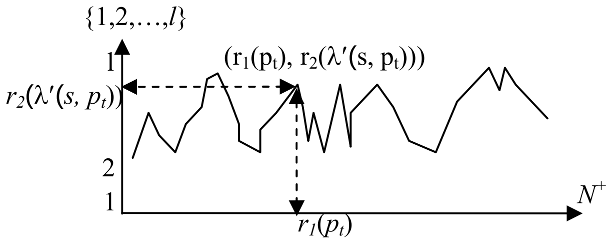

Рис. 2. Геометрический образ γ_S автомата A_S в системе координат с осью абсцисс N^+ и осью ординат $\{1, 2, \ldots, l\}$, где $l=|Y|$

Преобразование символьной формы законов функционирования автомата в числовую структуру

На основании линейного порядка ω_1 на множестве X^* и существовании наименьшего по порядку элемента $x_1 \in X^*$ каждый элемент $p \in X^*$ имеет номер $r_1(p) \in N^+$. Это позволяет геометрический образ размещать как в символьной системе координат с осями (X^*, ω_1) и (Y^*, ω_2), так и в прямоугольной декартовой системе координат на плоскости.

Следующая теорема позволяет вычислять по символьной форме координат точки (p, q) (вершины ломаной линии) геометрического образа γ_S значение координат на числовой плоскости.

Теорема 1. Пусть $p \in X^*$ и $p = x_{i_1} x_{i_2} ... x_{i_k}$, где $p \in X^*$. Тогда номер $r(p)$ слова p по порядку ω_1 определяется равенством:

$$r(p) = \sum_{j=1}^{k} r(x_{i_j}) \cdot |X|^{j-1} - 1 .$$

Для решения задач анализа и синтеза дискретных фазовых картин и траекторий, представленных в числовой форме, имеются и другие теоремы, например:

Теорема 2. Пусть $p \in X^*$ и $x \in X$ - точки на оси (X^*, w_1) геометрии Γ_0. Тогда разность $r_1(px)$-$r_1(p)$ определяется по формуле:

$$r_1(px)\text{-}r_1(p) = (|X|\text{-}1)\ r_1(p) + r_1(x).$$

Теорема 3. Пусть γ_S – геометрический образ в геометрии Γ_1 некоторого инициального конечного детерминированного автомата (A, s_0) с множеством входных сигналов X', $p \in X^*$ ($p \neq \varepsilon$) и s – преемник состояния s_0 по входному слову p. Тогда образ γ_S инициального автомата (A, s) образован точками, первые координаты которых имеют номера r, определяемые неравенствами:

$$\sum_{j=0}^{\upsilon} |X|^{j} + r_1(p) \cdot |X|^{\upsilon} \le r \le \sum_{j=0}^{\upsilon-1} |X|^{j} +$$
$$+(r_1(p)+1) \cdot |X|^{\upsilon} - 1.$$

Эти и другие теоремы [3] позволяют ориентироваться в процессах функционирования объектов технического диагностирования, представленных геометрическими образами на отдаленных интервалах оси времени.

Совмещение геометрических образов (законов функционирования) автоматов с геометрическими фигурами

Преобразование символьной формы задания законов функционирования автомата в числовую структуру (ломаную линию) позволяет, во-первых, использовать классические методы интерполяции и экстраполяции для доопределения частично заданных законов функционирования автомата в полностью определенные функции переходов и выходов, а во-вторых, для совмещения геометрических образов законов функционирования (фазовых картин и траекторий) с геометрическими линиями на плоскости. Для этого из геометрического образа γ_s извлекается последовательность $\xi = \langle y_{i_1}, y_{i_2}, \ldots, y_{i_t} \rangle$ вторых координат вершин ломаной линии. Имеют место теоремы:

Теорема 4. Пусть $A_s = (S, X, Y, \delta, \lambda, s)$ – конечный детерминированный автомат, $X=\{x_1, x_2, \ldots, x_m\}$ и $\xi = \langle y_{i_1}, y_{i_2}, \ldots, y_{i_t} \rangle$ – последовательность вторых координат геометрического образа γ_s. Тогда последовательность ξ, множество X и ограничение порядка ω_1 на X^*, использованное при построении γ_s, однозначно определяют t первых точек геометрического образа γ_s.

Доказательство. Пусть выполнены посылки теоремы. Тогда для заданных ограничения линейного порядка ω_1 и множества X однозначно определяется расположение первых по порядку ω_1 t элементов линейно упорядоченного множества (X, ω_1), где $t = |\xi|$. Вторые координаты первых t элементов линейно упорядоченного порядком ω множества (ρ_s ,ω) однозначно определяются взаиморасположением элементов в последовательности ξ.

Теорема 5. Пусть Y – конечное непустое множество. Тогда для любых $\xi \in Y^*$, конечного непустого множества X и линейного порядка ω_1 на X^* однозначно определяются t, где $t = |\xi|$, первых точек геометрического образа γ_s для частично определенного конечного детерминированного автомата с множеством входных сигналов X множеством выходных сигналов Y.

Доказательство. В достаточно очевидной теореме 4 утверждается, что для заданных автомата, линейного порядка на множестве его входных сигналов и известной последовательности ξ вторых координат точек геометрического образа однозначно определяются t первых элементов геометрического образа. В теореме 5 показывается, что для произвольных непустых конечных множеств X и Y, любого линейного порядка на X и любой последовательности $\xi \in Y^*$ однозначно определяются первые t, где $t = |\xi|$, элементов частично заданного конечного детерминированного автомата. При выполнении посылок теоремы 5 на основе заданного порядка ω_1 на X и его расширения по правилам 1 и 2 на множество X^* однозначно определяются первые t элементов линейно упорядоченного множества (X^*, ω_1). Эти элементы полагаются первыми координатами первых t точек геометрического образа автомата. Вторые координаты точек однозначно определяются последовательностью ξ и порядком элементов в ней.

Из теорем 4 и 5 следует принципиально важный вывод: любая конечная последовательность элементов из конечного множества, совмещенная с любым конечным непустым множеством и любым линейным порядком на нем, однозначно определяет частично заданный конечный детерминированный автомат. Для этого множеством состояний автомата полагается подмножество множества $\{ s_p \}_{p \in X^*}$ и функция δ определяется равенством: $\delta(s_p, x) = s_{px}$ для любых $p \in X^*$ и $x \in X$. Каждая имеющаяся в геометрическом образе автомата точка (px, y), где $p \in X^*, x \in X$ и $y \in Y$, определяет равенство $\lambda(s_p, x) = y$.

Следовательно, совмещение законов функционирования δ' и λ' автомата $A' = \left(\{ s_p \}_{p \in X^*}, X, Y, \delta', \lambda', s_\varepsilon \right)$ с геометрическими фигурами (кривыми линиями на плоскости) может быть осуществлено на основе:

– выбора точек на геометрической фигуре, выбора направления обхода этих точек и построения множества Y вторых координат для выбранных точек;

– построения последовательности $y_{i_1}, y_{i_2}, \ldots, y_{i_t}, \ldots$ соответствующей обходу выбранных на геометрической фигуре точек;

– выбора целого положительного числа m, множества $X=\{x_1, x_2, \ldots, x_m\}$ и начального линейного порядка $x_1 \prec x_2 \prec \ldots \prec x_m$ для определения линейного порядка ω_1 на X^*;

– построение функций δ и λ с использованием указанных выше правил построения функций по точкам геометрического образа. На рис.3 показан вариант выбора точек на кривой, обхода точек и соответствующая им последовательность вторых координат геометрического образа и числовой график.

Таким образом, к математической структуре в форме последовательности сведены задания законов функционирования автоматов, соответствующих им фазовых картин и фазовых траекторий, представление процессов произвольной природы как последовательностей.

Спектр числовых параметров, характеризующих последовательность

Для строгого представления свойств последовательности вводится спектр динамических параметров последовательности, характеризующий последовательность по взаимосвязям (взаиморасположению) элементов в ней. Определим понятие спектра. Исследования свойств спектров, соответствующих последовательностям, имеет общее значение для конструктивных объектов. Поэтому рассмотрим спектр для произвольных последовательностей, в частности, для фундаментальных математических последовательностей, определяющих приближения иррациональных чисел π, e, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$.

Пусть $U = \{u_1, u_2, ..., u_k\}$ – конечное множество и ξ последовательность элементов из множества U: $\xi = \langle u(1), u(2), ..., u(t), ... \rangle$. Множества всех конечных последовательностей, всех конечных последовательностей длины v и бесконечных последовательностей элементов из множества U будем обозначать соответственно U^*, U^v, U^∞. Спектр $\Omega(\xi)$ динамических характеристик последовательности $\xi \in U^* \cup U^\infty$ имеет иерархическую структуру, состоящую из уровней $\Omega(\xi) = (\Omega_0(\xi), \Omega_1(\xi), \Omega_2(\xi), \Omega_3(\xi), \Omega_4(\xi))$. Каждый конкретный вариант реализации (представление значениями параметров) любого уровня $\Omega_i(\xi)$ определяет разбиение каждого из множеств U^*, U^v, U^∞ на подмножества по свойствам совпадения характеристик, соответствующих уровню.

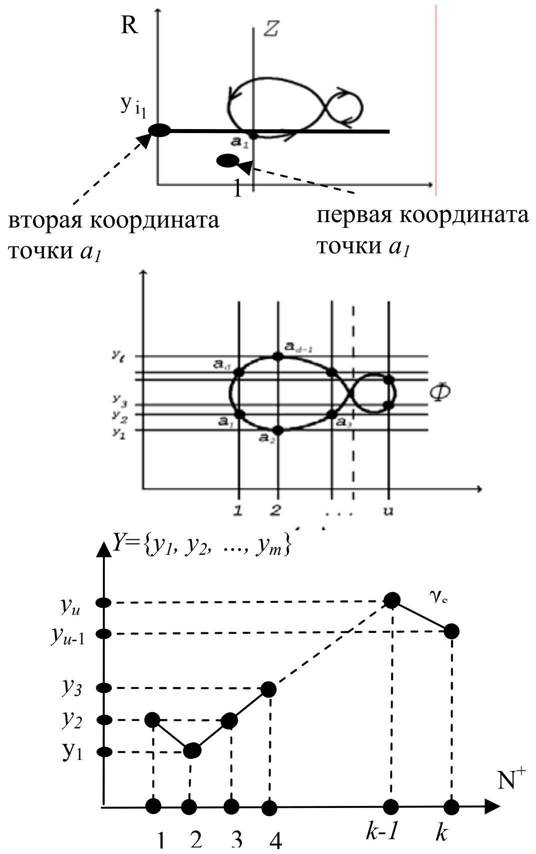

Рис. 3. Этапы выбора k точек на кривой линии, построения их координат, последовательности вторых координат и геометрического образа

Подмножества такого разбиения будем рассматривать как классы эквивалентности последовательностей. Введём следующие обозначения.

Для любой последовательности $\overline{\xi} \in U^\nu$ наименьший порядок рекуррентной формы, определяющей последовательность $\overline{\xi}$, будем обозначать $m_0(\overline{\xi})$. Для любой последовательности $\overline{\xi} \in U^\nu$ и $m \in N^+$, где $1 \le m \le m_0(\overline{\xi})$, наибольшую длину начального отрезка последовательности $\overline{\xi}$, определяемого рекуррентной формой порядка m, будем обозначать $d^m(\overline{\xi})$. Для любой последовательности $\overline{\xi} \in U^\nu$ и $m \in N^+$, где $1 \le m \le |\overline{\xi}| - 1$, число смен рекуррентных форм порядка m, требующихся при определении последовательности $\overline{\xi}$, будем обозначать $r^m(\overline{\xi})$. Для любой последовательности $\overline{\xi} \in U^\nu$ и $m \in N^+$, где $1 \le m \le m_0(\overline{\xi})$ и j, где $1 \le j \le r^m(\overline{\xi})$ длину j-го отрезка в определении последовательности $\overline{\xi}$ будем обозначать $d_j^m(\overline{\xi})$.

Используя введенные обозначения определим спектр параметров, характеризующих последовательность, как следующую структуру:

– $\Omega_0(\overline{\xi}) = \langle m_0(\overline{\xi}) \rangle$;

$\Omega_1(\overline{\xi}) = \langle d^1(\overline{\xi}), d^2(\overline{\xi}), ..., d^\alpha(\overline{\xi}) \rangle$;

– $\Omega_2(\overline{\xi}) = \langle r^1(\overline{\xi}), r^2(\overline{\xi}), ..., r^\alpha(\overline{\xi}) \rangle$;

$\Omega_3(\overline{\xi}) = \langle \Omega_3^1(\overline{\xi}), \Omega_3^2(\overline{\xi}), ..., \Omega_3^\alpha(\overline{\xi}) \rangle$,

где $\alpha = m_0(\overline{\xi})$ и $\Omega_3^j(\overline{\xi}) = \langle d_1^j(\overline{\xi}), d_2^j(\overline{\xi}), ..., d_{n_j}^j(\overline{\xi}) \rangle$

(n_j – номер последнего отрезка в определении последовательности $\overline{\xi}$ как последовательности отрезков, определяемых отдельными рекуррентными формами порядка j);

– $\Omega_4(\overline{\xi}) = \Theta(\Omega_3(\overline{\xi}))$, где Θ – оператор замены в $\Omega_3(\overline{\xi})$ величин длин отрезков весами использованных рекуррентных форм для определения отрезков.

Четвёртый уровень $\Omega_4(\overline{\xi})$ спектра $\Omega(\overline{\xi})$ добавляет к характеристикам в предшествующих уровнях оценку сложности правил и вариантов использования правил. Поиск тестового диагностического воздействия для распознавания автомата в заданной паре автоматов, если законы функционировании автоматов представлены некоторыми последовательностями ξ_1 и ξ_2, связан с выполнением неравенства $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$, где через $pr_i\xi_1$ обозначе i-й элемент последовательности ξ_1. В данной работе свойства спектров $\Omega(\xi_1)$ и $\Omega(\xi_2)$ исследуются с целью определения по ним, выполняется ли неравенство $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$. Результаты представлены в теоремах 1-4. (Доказательства в данной работе не приводятся).

Теорема 6. Пусть $\xi_1, \xi_2 \in U^k$, где $k \in N^+$, $k \geq 3$ и $|U| < +\infty$. Если наименьшие порядки рекуррентных форм, определяющих последовательности ξ_1 и ξ_2, не равны, то для некоторого i, где $1 \leq i \leq k$, выполняется неравенство $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$.

Следствие. Если для последовательностей ξ_1 и ξ_2, удовлетворяющих условиям теоремы, $\Omega_0(\xi_1) \neq \Omega_0(\xi_2)$, то для некоторого i: $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$.

Теорема 7. Пусть $\xi_1, \xi_2 \in U^k$, где $k \in N^+$, $k \geq 3$ и $|U| < +\infty$. Если $\Omega_0(\xi_1) = \Omega_0(\xi_2)$ $\Omega_1(\xi_1) \neq \Omega_1(\xi_2)$, то для некоторого i, где $1 \leq i \leq k$, выполняется неравенство $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$.

Теорема 8. Пусть $\xi_1, \xi_2 \in U^k$, где $k \in N^+$, $k \geq 3$ и $|U| < +\infty$, а так же $\Omega_0(\xi_1) = \Omega_0(\xi_2)$ и $\Omega_1(\xi_1) = \Omega_1(\xi_2)$. Если $\Omega_2(\xi_1) \neq \Omega_2(\xi_2)$, то для некоторого i, где $1 \leq i \leq k$, выполняется неравенство $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$

Теорема 9. Пусть $\xi_1, \xi_2 \in U^k$, где $k \in N^+$ и $k \geq 3$ и $|U| < +\infty$, а так же $\Omega_0(\xi_1) = \Omega_0(\xi_2)$, $\Omega_1(\xi_1) = \Omega_1(\xi_2)$ и $\Omega_2(\xi_1) = \Omega_2(\xi_2)$. Если $\Omega_3(\xi_1) \neq \Omega_3(\xi_2)$, то для некоторого i, где $1 \leq i \leq k$, выполняется неравенство $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$.

В теоремах 6-9 показано, что каждый из следующих уровней содержит информацию, дополняющую информацию предыдущих уровней. Эти теоремы дают только достаточные условия для связи свойств спектра со свойствами последовательностей.

Четвёртый уровень $\Omega_4(\xi)$ спектра $\Omega(\xi)$ даёт интерпретацию рекуррентным формам и длинам определяемых ими подпоследовательностей числовыми весовыми показателями. Веса могут интерпретироваться как характеристики времени, затрат ресурсов, показатели достоверности и т.п.

Для технического диагностирования сложных систем в качестве одного из методов поиска диагностических процедур (воздействий) может использоваться метод, включающий следующие этапы:

Вариант полного определения законов функционирования объекта диагностирования и отсутствия ограничений на средства диагностирования.

1. Рассматриваемому множеству неисправностей I сопоставляется семейство математических моделей в виде семейства автоматов $\alpha = \{A_i\}_{i \in I}$, где каждый автомат A_i определён геометрическим образом γ_i законов его функционирования.

2. Из семейства $\kappa = \{\gamma_i\}_{i \in I}$ извлекается семейство $\beta = \{h_i\}_{i \in I}$, где h_i – последовательность вторых координат точек геометрического образа γ_i.

3. По семейству β строится семейство спектров $\Omega = \{\Omega(h_i)\}_{i \in I}$, которое используется для определения средств и стратегий получения диагностической информации.

Вариант частичного определения законов функционирования объекта диагностирования и наличие ограничений на средства диагностирования.

1. Рассматриваемому множеству неисправностей I сопоставляется семейство математических моделей в виде семейства частично определенных автоматов $\alpha' = \{A_i'\}_{i \in I}$, где каждый автомат A_i' задан частично определенным геометрическим образом γ_i' законов его функционирования.

2. Из семейства $\kappa' = \{\gamma_i'\}_{i \in I}$ извлекается семейство $\beta' = \{h_i'\}_{i \in I}$, где h_i' – частично определенная последовательность вторых координат точек геометрического образа γ_i'.

3. Каждый частично заданный геометрический образ γ_i', $i \in I$, частично определенный последовательностью h_i' доопределяется на всем интервале времени (тактов) или на всех интервалах, предполагаемых для использования при получении диагностической информации. Для этого к семейству последовательностей $\beta' = \{h_i'\}_{i\in I}$ применяются классические методы интерполяции, для которых установлена эффективность в рассматриваемой предметной области. В результате оказывается построенным семейство $\beta'' = \{h_i''\}_{i\in I}$ последовательностей вторых координат точек геометрических образов и определено семейство самих геометрических образов $\kappa'' = \{\gamma_i''\}_{i\in I}$.

4. По семейству β'' строится семейство спектров $\Omega = \{\Omega(h_i'')\}_{i\in I}$, которое используется для определения средств и стратегий получения диагностической информации. Поиск таких средств и стратегий осуществляется с использованием теорем 6-11, на основании которых определяются места действия средств диагностирования (характеризуется их форма и стратегия применения).

Теорема 10. Пусть U и V – конечные непустые множества, $\xi_1 \in U^*$, $\xi_2 \in V^*$ и существует биекция $\varphi : U \to V$. Тогда $\Omega(\xi_1) = \Omega(\xi_2)$.

Теорема 11. Пусть для множеств U и V выполняется теорема 10, $U \neq V$ и $|\xi_1| = |\xi_2| = k$. Тогда для некоторого i, где $1 \le i \le k$, выполняется неравенство $pr_i\xi_1 \neq pr_i\xi_2$

Доказательства теорем 10-11 не приводится в связи с ограничением объема статьи.

Краткие выводы

Изложенные в статье результаты представляют возможный вариант построения дискретных детерминированных динамических систем в форме числовых структур как моделей больших объектов технического диагностирования, построения характеризующих поведение объектов спектров числовых параметров. Приведены некоторые свойства спектров.

Литература

1. Твердохлебов В.А. Техническое диагностирование в геометрической интерпретации задач, моделей и методов // Материалы международной конф. «Автоматизация проектирования дискретных систем». – Минск, 1995. – Т. 1. – С. 97-103.
2. Твердохлебов В.А. Распознавание автоматов на основе геометрической интерпретации // Тезисы 2-й междунар. конф. «Проблемы теоретической кибернетики». – М. – 1996. – С. 191-198.
3. Твердохлебов В.А. Геометрические образы конечных детерминированных автоматов // Известия Саратовского ун-та. Сарат. – 2005. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 141-153.
4. Твердохлебов В.А. Геометрические образы поведения дискретных детерминированных систем // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2006. – № 5. – С. 161-165.
5. Твердохлебов В.А. Методы интерполяции в техническом диагностировании // Проблемы управления. – 2007. – № 2. – С.28-34.
6. Твердохлебов В.А. Техническое диагностирование на основе геометрических структур законов функционирования // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 7. – С. 158-168.
7. Твердохлебов В.А. Классификация законов функционирования для синтеза дискретных систем // Материалы международной конф. «Автоматизация проектирования дискретных систем». – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 65-71.
8. Твердохлебов В.А. Специфика технического диагностирования сложных дискретных систем // Материалы международной конф. «Автоматизация проектирования дискретных систем». – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 207-213.

Поступила в редакцию 4.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.