

$K_i \div \alpha_i, i = \overline{1,8}$. Например, класс дрейфов включает такие виды отказов: d_1 – дрейф положительный компенсируемый; d_2 – дрейф положительный некомпенсируемый; d_3 – дрейф отрицательный компенсируемый; d_4 – дрейф отрицательный некомпенсируемый. Все четыре вида отказов характеризуются параметром смещения статической характеристики по оси ординат $E_0 \div \alpha_1$.

Параметризация видов отказов и классов – взаимосвязанные задачи, так как класс формируется из подмножества видов, покрываемых одним параметром, а виды отказов параметризуются в номинальной шкале с помощью интервализации параметра класса, исходя из возможности последующего парирования видов отказа с помощью имеющихся избыточных средств, т. е. исходя из устранимых последствий причин отказов. Конструктивные и функциональные особенности динамического объекта, а также возможности по парированию отказов позволяют перейти к следующему уровню параметризации прямых признаков отказов, а именно к параметризации мест отказа – конструктивно-законченной части объекта, где произошел отказ, и, более того, этот отказ можно парировать на этом уровне: на уровне места. Итак, в результате систематизации классов отказов формируется множество мест отказов $M = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, здесь m_i – имя конструктивно законченной части динамического объекта. Параметризация мест отказов заключается в выборе из множества параметров, характеризующих качество функционирования m_i части объекта, такого одного параметра, который вычисляется по косвенным измерениям в условиях известных ресурсных ограничениях и однозначно характеризует часть объекта m_i , т. е. $m_i \div \beta_i$.

Завершающий уровень параметризации прямых признаков отказов – это формирование параметров, характеризующих факт наличия отказов в динамическом объекте. Предлагаемая параметризация прямых признаков отказов представляет, по сути, иерархическую схему параметризации, которую условно можно отобразить следующей цепочкой $D \rightarrow P^B \rightarrow P^K \rightarrow P^M \rightarrow P^O$, где

$P^B = \{p_i^B\}_1^q$ – множество параметров видов отказов и

$p_i^B \div d_i, d_i \in D; P^K = \{p_i^K\}_1^l$ – множество параметров

классов отказов; $P^M = \{p_i^M\}_1^s$ – множество параметров

мест отказов; $P^O = \{p_i^O\}_1^n$ – множество параметров, ха-

рактеризующих появление отказов. Графически принцип иерархической параметризации можно представить схемой, изображенной на рис. 4.

Следует отметить, что множество параметров формируются в разнотипных измерительных шкалах, так множество P^B формируется в номинальной шкале признаков, а множества P^K, P^M и P^O – в относительной шкале или других, в зависимости от физических параметров, используемых при построении математических моделей номинального и возмущенного движений динамических объектов.

3. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ССОС

Для математического описания аварийных, нештатных режимов используют различные ДМ, позволяющие формализовать причинно-следственные связи, формировать подходы к диагностированию функционального состояния и восстановлению работоспособности динамических объектов, оценивать возможность обнаружения отказов, поиска места их возникновения, установления класса. Использование ДМ дает возможность целенаправленно выбирать косвенные диагностические признаки и аналитически формировать алгоритмы решения основных задач диагностирования, а также обоснованно выбирать функциональный критерий отказоустойчивости и произвести синтез алгоритмов восстановления работоспособности. ДМ отражают с помощью различных формальных средств причинно-следственных связей развития нештатных ситуаций. Различают вербальные, графические, математические и машинные ДМ. Построение ДМ является трудоемким итерационным процессом, связанным с многочисленными экспериментально-теоретическими исследованиями и отработками. Методики построения ДМ базируются на методиках пост-

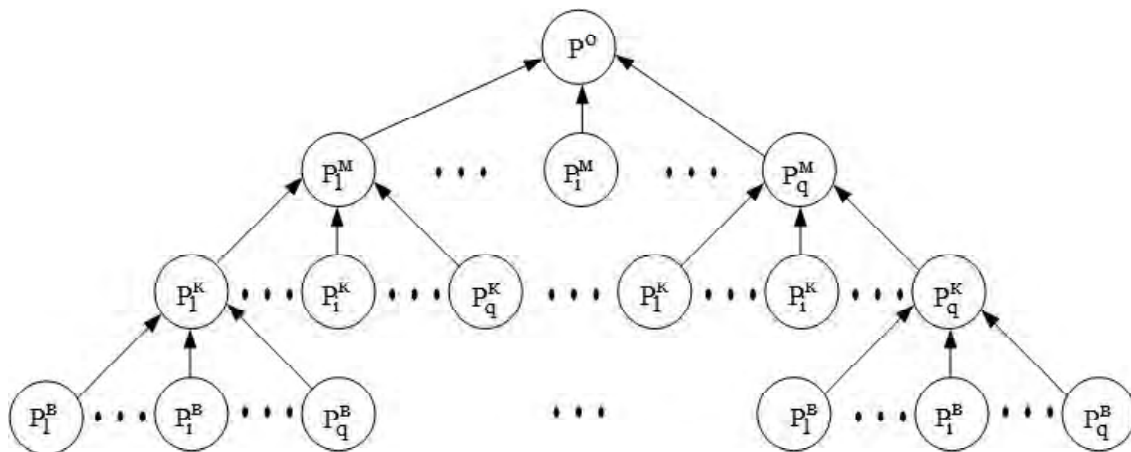


Рис. 4. Иерархическая схема параметризации прямых признаков отказов

роения традиционных управленческих вербальных, графических, математических и машинных моделей функциональных элементов и систем управления. Рассмотрим принципы построения иерархической совокупности квинтэссенции моделирования-машинных диагностических моделей (МДМ). При разработке диагностического обеспечения любого динамического объекта приходится решать следующие основные задачи: 1) обнаружение отказов; 2) поиск места отказа; 3) определение класса. Каждая из этих задач обладает специфичностью, как в постановке, так и в используемых методах решения. В связи с этим при решении каждой задачи используют свой тип МДМ. Причем, эти МДМ связаны между собой в иерархическую структуру, в которой на верхнем уровне находятся МДМ для обнаружения отказов, на среднем уровне располагаются МДМ для поиска места отказа, а на третьем уровне – МДМ для решения задачи определения класса отказа.

Построение иерархии МДМ начинается с моделей третьего уровня. Для этого в соответствии с методологией обеспечения отказоустойчивости изучают в соответствии с первым этапом, объект исследования – динамический объект, затем на втором этапе формируют множество потенциально возможных физических видов отказов. Это множество видов отказов устанавливают в результате исследовательской деятельности, связанной с анализом надежностных характеристик объекта, опыта эксплуатации подобных объектов, возможных ресурсов для восстановления работоспособности и других характеристик. Здесь же выявляют и возможные типы отказов по таким признакам, как степень влияния на работоспособность объекта, характер проявления, связь с другими отказами, частота проявления, характер возникновения. В конечном итоге формируют множество физических видов отказов, по отношению к которым система должна быть отказоустойчивой.

С целью конкретизации изложения особенностей построения иерархии МДМ введем такое обозначение этого множества: $D = \{d_1, d_2, \dots, d_q\}$, где d_i – i -й физический вид отказа, например, для блокового уровня – «залипание» измерителя угловой скорости на нуле, дрейф нуля до $0,1^\circ$; поломка внешних элементов конструкции спутника; уменьшение управляющих моментов двигателей маховиков на 10 % и ряд других.

Рассмотрим особенности формирования уравнений МДМ для задачи определения класса отказов. Классы возможных видов отказов формируются в результате параметризации элементов множества D . Параметризация означает, что элементу или группе элементов ставится в соответствие параметр, характеризующий соответствующий физический вид отказа, или несколько видов, описанных вербально. Итак, на практике для большинства динамических объектов $\exists d_i, d_i \in D$ можно выбрать параметр, характеризующий целый класс видов отказов. Например, для акселерометров – это параметр, характеризующий дрейфы: положительные, отрицательные, компенсируемые и некомпенсируемые.

Следовательно, в результате параметризации формируют множество параметров классов: $\mathcal{A} = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_\eta\}, \forall \alpha_i \in [\alpha_i]$, где $[\alpha_i]$ – вещественное интервальное число; $\eta \leq q$. На всех этапах проектирования ССОС для описания номинальных, штатных режимов функционирования агрегатов, приборов, блоков и всей системы в целом используют линеаризованные математические модели [1]. Подобное описание применимо и для нештатных режимов, вызванных видами отказов множества D . Представим возмущенное движение динамического объекта в канонической наблюдаемой форме с помощью следующей машинной системы уравнений:

$$\begin{aligned} \tilde{x}(k+1) &= \tilde{A}_1 \tilde{x}(k) + \tilde{B}_1 u(k); \\ \tilde{y}(k) &= C_1 \tilde{x}(k) + \tilde{D}_1 u(k); \quad \tilde{x}(k_0) = \tilde{x}_0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\tilde{x}(k)$ – ν_1 -мерный вектор состояния аварийного динамического объекта, $\tilde{x}(k) \in X^{\nu_1}$; $u(k)$ – ν_2 -мерный вектор управляющих воздействий, $u(k) \in U^{\nu_2}$; $y(k)$ – ν_3 -мерный вектор измерений, $\tilde{y}(k) \in Y^{\nu_3}$; $\tilde{A}_1, \tilde{B}_1, C_1$ и \tilde{D}_1 – матрицы коэффициентов соответствующих размерностей.

МДМ ML-модель для i -го класса отказов описывается в виде:

$$\begin{aligned} \Delta x(k+1) &= G_1 \Delta x(k) + [A_{\alpha_i} \hat{x}(k) + B_{\alpha_i} u(k)] \Delta \alpha_i; \\ \Delta y(k) &= C \Delta x(k) + [D_{\alpha_i} u(k) + F_{\alpha_i}] \Delta \alpha_i; \\ \Delta x(k_0) &= \tilde{x}_0, \end{aligned}$$

где $\Delta x(k) = \tilde{x}(k) - \hat{x}(k)$, $\hat{x}(k)$ – оценочное значение вектора состояния, полученное с помощью фильтра Люенбергера; $A_{\alpha_i}, B_{\alpha_i}, D_{\alpha_i}, F_{\alpha_i}$ – матрицы чувствительности по параметру α_i ; $\Delta \alpha_i = \alpha_i - \alpha_{in}$, α_{in} – номинальное значение параметра класса.

Для решения последующих задач диагностического обеспечения процедура для классов отказов повторяется.

Полученные значения матриц A, B , и C , а также данные входа $u(k)$ и выхода $\tilde{y}(k)$ аварийного объекта используют для воспроизведения текущих значений оценки $\hat{y}(k)$ с помощью фильтра Люенбергера. Затем, имитируют в реальном, полунатурном или машинном объекте проявление физических видов отказов из множества D и полученные значения сигналов обрабатываются по следующему правилу:

$$\Delta y(k) = \tilde{y}(k) - \hat{y}(k), \quad \forall k, k \in T;$$

$$s_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } \sum_k |\Delta y_j(k)| \geq \delta_{j0} \\ 0 & \text{при } \sum_k |\Delta y_j(k)| < \delta_{j0}; \quad \forall k \in T; j = \overline{1, m}, \end{cases}$$

где T – множество дискретных значений моментов времени, соответствующих интервалу наблюдения; $\Delta y_j(k)$ –

величина j -й координаты вектора $\Delta y(k)$; δ_{j0} – пороговое значение допустимого изменения j -й координаты.

Полученные значения переменной s_{ij} позволяют отобразить результаты исследований с помощью таблицы влияния отказов (ТОВ), представляющей собой наиболее распространенную разновидность логических диагностических моделей (ЛДМ). ТВО формируется как для тестового режима функционирования объекта, когда подаются специально организованные управляющие воздействия $u(k)$, так и для функционального режима при подаче рабочих воздействий $u(k)$.

ЛДМ используют аналогичным образом для определения оптимальной совокупности признаков при решении и других основных задач диагностирования: поиска места отказа, определение класса отказа и установления вида отказа. Это дает возможность уменьшить сложность алгоритмического обеспечения диагностирования и как следствие, повысить оперативность получаемого диагноза, что принципиально важно для активного отказоустойчивого управления в реальном масштабе времени.

Работоспособность динамического объекта характеризуется выполнением ряда требований, например, по запасам устойчивости, времени переходного процесса, точности и др. Отказ в объекте приводит к нарушению его работоспособности. Для обеспечения отказоустойчивости динамический объект должен обладать способностью восстанавливать свою работоспособность при появлении отказов из заданного множества. Восстановить работоспособность означает в буквальном смысле «вернуть» характеристики в диапазоны, соответствующие нормальному функционированию объекта, посредством сигнальной или параметрической подстроек, замены полностью отказавших элементов исправными, использования вместо сигналов отказавших датчиков, восстановленных по показаниям других датчиков, оценочных значений, перехода на другие алгоритмы управления, применение других избыточных ресурсов.

Описанные структуры МДМ могут быть применены для решения задач по восстановлению работоспособности. Рассмотрим для ССОС возможность использования МДМ для обнаружения отказов. Предположим, что в объекте произошел отказ и этот отказ диагностирован. Пусть эта аномалия характеризуется параметром γ_i , тогда машинная диагностическая ML-модель описывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta x(k+1) &= G\Delta x(k) + A\gamma_i \hat{x}(k) \Delta\gamma_i + \\ &+ B\gamma_i u(k) \Delta\gamma_i; \\ \Delta y(k) &= C\Delta x(k); \Delta x(k_0) = \tilde{x}_0. \end{aligned} \quad (1)$$

Преобразуем уравнения (1) к виду

$$\begin{aligned} \Delta y(k+1) &= CG\Delta x(k) + \\ &+ C[A\gamma_i, B\gamma_i][\hat{x}(k) \ u(k)]^T \Delta\gamma_i. \end{aligned}$$

В силу того, что матрица G может быть выбрана диагональной с одинаковыми собственными значениями, а матрица C в канонической наблюдаемой форме имеет коэффициенты 0 или 1, первое слагаемое можно представить в такой форме: $G'\Delta y(k)$, где G' – диагональная матрица с теми же собственными значениями, но $\dim G' = (m \times m)$. Во втором слагаемом обозначим матрицу $C[A\gamma_i \ B\gamma_i] = L\gamma_i$ и введем вектор сигналов $\vartheta_{\gamma_i}^T(k) = [\hat{x}(k) \ u(k)]$. Тогда с учетом новых обозначений

$$\begin{aligned} \Delta y(k+1) &= G'\Delta y(k) + L\gamma_i J_{\gamma_i} \Delta\gamma_i; \\ \Delta y(k_0) &= \tilde{y}_0. \end{aligned} \quad (2)$$

По сути, уравнение (2) описывает отклонения возмущенного движения объекта относительно эталонного поведения, воспроизводимого фильтром Люенбергера. Возмущенное движение вызвано отказом, характеризуемым $\Delta\gamma_i$. Возмущающее воздействие на объект в данном случае описывается произведением $\vartheta_{\gamma_i}(k) \Delta\gamma_i$. Матрица $L\gamma_i$ определяет направления передачи и величину возмущающего воздействия. Матрица G' характеризует собственную динамику процесса получения отклонений возмущенного движения. В терминах этой модели задача восстановления работоспособности объекта состоит в том, чтобы устранить отклонение $\Delta y(k)$, т. е. обеспечить выполнение условия $\lim_{k \rightarrow \infty} \Delta y(k) = 0$. С точки зрения теории устойчивости динамических управляемых объектов выполнение такого условия означает асимптотическую устойчивость движения скорректированного объекта относительно его эталонной модели.

Для устранения отклонения $\Delta y(k)$, вызванного возмущением $\vartheta_{\gamma_i}(k) \Delta\gamma_i$, требуются соответствующие устройства автоматической стабилизации, выполняющие сигнальную, параметрическую подстройки или реконфигурацию структуры на основании отклонения $\Delta y(k)$. В общем случае контур такого восстановления работоспособности описывается уравнениями

$$\begin{aligned} \Delta y(k+1) &= G'\Delta y(k) + L\gamma_i F[\delta(k)]; \\ \delta(k+1) &= \delta(k) + \psi(k)T_0, \end{aligned} \quad (3)$$

где $F[\cdot]$ – вектор нелинейных функций устройства стабилизации; $\delta(k)$ – вектор управляющих воздействий стабилизатора; $\psi(k)$ – вектор формирования управляющих воздействий; T_0 – период квантования.

Вектор $F[\cdot]$ отражает ограниченные возможности восстановления и описывает функции соответствующих устройств.

При использовании сигнальной подстройки для восстановления работоспособности функция $F[\cdot]$ описы-

вает алгоритм устройства, генерирующего дополнительный сигнал к управляющему воздействию $u(k)$. При параметрической подстройке функция $F[\cdot]$ описывает закон изменения подстраиваемого параметра. Если выполняется реконфигурация алгоритмов или аппаратуры, то $F[\cdot]$ описывает функции соответствующих коммутаторов, отключающих отказавшие элементы и подключающих резервные. При использовании уравнений (3) для формирования управляющих воздействий $\delta(k)$ в целях обеспечения асимптотического убывания к нулю вектора отклонений $\Delta y(k)$ наиболее приемлемы методы синтеза с помощью функций А. М. Ляпунова.

Таким образом, более физично и целесообразно для синтеза контуров восстановления работоспособности динамических объектов, а также для оценки качества функционирования отказоустойчивого объекта использовать критерий в форме функций Ляпунова

$$\begin{aligned} V[\Delta y(k)] &= \Delta y^T(k) Q \Delta y(k); \\ V[\Delta y(k)] &= \|\Delta y(k)\|, \end{aligned} \quad (4)$$

где Q – симметричная, положительная матрица; $\|\Delta y(k)\|$ – норма вектора $\Delta y(k)$.

Эти функции по сути своей характеризуют устойчивость динамического объекта к сигнальным и параметрическим возмущениям, вызванным действием видов отказов. В связи с этим функции Ляпунова можно использовать в качестве критериев функциональной отказоустойчивости, как блоков, так и всей ССОС в целом.

4. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДУЛЕЙ ДФС

С помощью МДМ можно разрабатывать алгоритмы модулей (рис. 1) для определения таких характеристик ССОС как момент появления отказа, его место, класс и конкретный физический вид, т. е. полный диагноз. В обобщенном виде классы МДМ можно описать следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta x(k+1) &= G \Delta x(k) + \\ &+ [A \hat{x}(k) + B u(k)] \Delta \lambda; \\ \Delta y(k) &= C \Delta x(k) + [D u(k) + F] \Delta \lambda; \\ x(k) &= \tilde{x}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\lambda_i \in \{\alpha_i, \beta_i, \gamma_i\}$, $i = \overline{1, \pi}$ и λ_i – обобщенный прямой диагностический признак отказа.

Решение обратной задачи для системы уравнений (5) в общем случае не представляется возможным в силу трудности обращения прямоугольных матриц, так как $\dim C = m \times n$, а $m < n$ или $m > n$. В частном случае, когда $\dim C = n \times n$, т. е. вектор состояния полностью измеряем это возможно. Как показали исследования на конкретных диагностических объектах, в этом нет практичес-

кой необходимости. Более простой и эффективный путь определения оценочных значений прямого признака $\Delta \lambda_i$ базируется на таком обстоятельстве. Уравнение в системе (5) векторно-матричное, а параметр $\Delta \lambda_i$ – скалярный. В векторном уравнении состояния n скалярных уравнений, так как $\dim x(k) = n$, а в векторном уравнении выхода, в силу того, что $\dim y(k) = m$, будет m скалярных уравнений. Таким образом, в сумме получается $n+m$ скалярных уравнений, связывающих сигналы с неизвестным прямым признаком $\Delta \lambda_i$. Поэтому существует принципиальная возможность из всей совокупности линейных скалярных уравнений выбрать такие самые простые по структуре, которые позволяют получить разрешение относительно неизвестного параметра $\Delta \lambda_i$. Выбор более простых по структуре уравнений позволяет минимизировать количество вычислительных операций в алгоритме получения $\hat{\Delta \lambda}_i$, а следовательно, способствует повышению оперативности получения диагноза и уменьшению вычислительных ресурсов.

При решении основных задач диагностирования динамического объекта нужно учитывать следующее. При установлении факта отказа, поиске его места и определении класса (рис. 5) используется дихотомическое дерево, представляющее собой продукционную базу знаний процесса диагностирования. В узлах такого дерева используются предикатные конструкции двузначного типа

$$\begin{aligned} z &= s_2 \{f[\Delta y(k)] - \delta\} = \\ &= \begin{cases} 1, & \text{если } f[\cdot] \geq \delta; \\ 0 & \text{если } f[\cdot] < \delta; \forall k \in T, \end{cases} \end{aligned}$$

где δ – пороговое значение; $f[\Delta y_i(k)]$ – нелинейная функция от компонент вектора измерений $\Delta y(k)$.

В качестве аргументов двузначного предиката используются дискретные значения отклонения измерений выходных сигналов динамического объекта, размещенные в векторе $\Delta y(k)$, функциональная связь этих измерений, а также пороговое значение, определяющее допустимое изменение функции $f[\cdot]$. Нелинейная функция $f[\cdot]$ формируется с помощью МДМ, связывающей конкретный для каждой основной задачи диагностирования прямой признак $\Delta \lambda_i$ с косвенным – результатами вычисления $\Delta y(k)$.

Координация функционирования модулей производится с помощью соответствующих процедур, зависящих от организации вычислительного процесса в блоках и во всей спутниковой системе ориентации и стабилизации в целом.

5. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МВР

Для успешного восстановления работоспособности динамического объекта в конструкции должны быть избыточные средства, такие как: а) дополнительные сигнальные входы; б) средства параметрической подстройки; в) избыточные приборы, агрегаты, устройства;



Рис. 5. Схема разработки алгоритмического обеспечения модуля ДФС

г) дополнительные алгоритмы и программы; д) другие средства. Формирование структуры алгоритмического обеспечения модулей целесообразно проводить с использованием МДМ для обнаружения отказов. Система уравнений (3) описывает возмущенное отказом движение динамического объекта с управляющим воздействием интегрального типа. Для описания особенностей синтеза алгоритмов управления перечисленными избыточными средствами используем более общий тип уравнения – пропорциональный и тогда уравнение возмущенного отказом движения примет такой вид

$$\begin{aligned} \Delta y(k+1) &= G'\Delta y(k) + L_{\gamma_i} \psi(k); \\ \Delta y(k_0) &= \tilde{y}_0. \end{aligned} \quad (5)$$

С учетом таких, более простых для последующего изложения обозначений $G' = R$, $L_{\gamma_i} = T$ представим уравнение так

$$\begin{aligned} \Delta y(k+1) &= R\Delta y(k) + T\psi(k); \\ \Delta y(k_0) &= \tilde{y}_0, \Delta y(k) \in \Omega, \end{aligned} \quad (6)$$

где Ω – множество точек связанной конечной области пространства состояния, содержащее в себе начало координат и некоторую ее конечную окрестность.

Управляющее воздействие $\psi(k)$ определим с помощью дискретного аналога второго метода А. М. Ляпунова, позволяющего получить условия асимптотической устойчивости в некоторой области или в целом при появлении соответствующих используемым резервным средствам, физических видов отказов. Второй метод Ляпунова, как известно, заключается в формировании специальной вспомогательной скалярной функции, называемой функцией Ляпунова $V[\Delta y(k)]$, и исследовании ее свойств, а также свойств ее первой разности $\Delta V[k, k+1]$, определенной вдоль траектории уравнения (6).

Функция $V[\Delta y(k)]$ называется определенной положительной в области Ω , если всюду в этой области, кроме точки начала координат, выполняется неравенство $V[\Delta y(k)] > 0$. При выполнении неравенства $V[\Delta y(k)] < 0$ функцию называют определенно отрицательной. В общем, такие функции называются знакоопределенными. Приведем основные результаты теории устойчивости, используемые в дальнейшем изложении.

Линейная система, описываемая дискретным уравнением (6) асимптотически устойчива, когда все корни σ_i (характеристические числа) матрицы R лежат внутри круга единичного радиуса, т. е. $|\sigma_i| < 1, i = \overline{1, m}$. Если для системы (6) в области Ω существует определенно положительная функция $V[\Delta y(k)]$, первая разность которой $\Delta V[k, k+1]$, вычисленная в силу системы (6), будет определенно отрицательной, то положение равновесия будет асимптотически устойчивым, т. е. $\lim_{k \rightarrow \infty} \Delta y(k) = \infty$.

Рассмотрим метод получения достаточных условий компенсации отклонений $\Delta y(k)$, вызванных физическими видами отказов, а также алгоритмов восстановления работоспособности с помощью аппарата функций Ляпунова. Качество компенсации видов отказов или восстановления работоспособности будет оцениваться с помощью функции вида

$$V[\Delta y(k)] = \Delta y^T(k) Q \Delta y(k), \quad (7)$$

где $Q = Q^T > 0$. Такая функция определенно положительная в области Ω , следовательно, удовлетворяет требованиям функций Ляпунова.

Первую разность функции Ляпунова $\Delta V[k, k+1] = V[\Delta y(k+1)] - V[\Delta y(k)]$ определим с использованием уравнения (6), в результате получим:

$$\Delta V[k, k+1] = \Delta y^T(k) [R^T QR - Q] \Delta y(k) + 2\Delta y^T(k) R^T Q M \psi(k) + \psi^T(k) M^T Q M \psi(k). \quad (8)$$

Компенсирующее воздействие $\psi(k)$ выберем из условия обеспечения в области Ω для конечной разности $\Delta V[k, k+1]$ выполнения следующего неравенства $\Delta V[k, k+1] < 0$, т. е. условия определенной отрицательности функции. Функция (8) будет определенно отрицательной при выполнении таких условий:

1. $R^T QR - Q = -P$, где $P = P^T > 0$. (9)

2. $2\Delta y^T(k) R^T Q M \psi(k) + \psi^T(k) M^T Q M \psi(k) = 0$. (10)

Первое условие можно выполнить, если задать матрицу P как квадратную диагональную и положительную. Тогда из матричного равенства (9) вычисляют матрицу Q , удовлетворяющую требованию $Q = Q^T > 0$. Выполнение второго условия (10) связано с выбором вектора компенсирующего воздействия $\psi(k)$, обеспечивающего нулевое значение суммы двух слагаемых в области Ω . Преобразуем равенство (10)

$$[2\Delta y^T(k) R^T Q M + \psi^T(k) M^T Q M] \psi(k) = 0. \quad (11)$$

Из (11) следуют два условия:

1. $\psi(k) = 0$;
2. $\psi^T(k) = -2\Delta y^T(k) R^T Q M [M^T Q M]^{-1}$. (12)

Первое решение – тривиальное и не применимо для компенсации последствий отказа. Второе решение представляет собой алгоритм формирования векторного компенсирующего воздействия, обеспечивающего асимптотическую устойчивость относительно значения $\Delta y(k) = 0$ в области Ω . Другими словами, алгоритм (12) обеспечивает компенсацию последствий физического вида отказа, т. е. восстановление работоспособности динамического объекта.

Убедиться в свойствах компенсирующего воздействия можно путем подстановки выражения для вектора $\psi(k)$ в систему (6). Для большей наглядности рассмотрим частный случай, когда компенсирующее воздействие скалярное, тогда $M=m$ и после соответствующих преобразований получаем, что

$$\Delta y(k+1) = \left[R - 2 \frac{m m^T Q R}{m^T Q m} \right] \Delta y(k). \quad (13)$$

Далее, если вектор t имеет m ненулевую компоненту, а матрица $R = \delta I$, причем $|\delta| < 1$, т. е. корни матрицы лежат внутри единичного круга, тогда все корни новой матрицы кроме m -го будут равны $-\delta$, а m -й корень равен δ . Так как δ ограничен по модулю, то все корни лежат внутри единичного круга, а следовательно, такая система асимптотически устойчива.

Произвольность в выборе структуры функций Ляпунова позволяет получать различные алгоритмы восстановления работоспособности динамического объекта, отличающиеся структурой и качественными показателями динамики компенсации последствий действий физических видов отказов. С целью унификации разработки алгоритмического обеспечения модулей восстановления работоспособности динамических объектов разработан подход, систематизирующий необходимые этапы и их взаимосвязь. На рис. 6 этот подход представлен графической схемой.

Приведенная схема представляет собой эскиз структуризации способа решения задачи разработки алгоритмического обеспечения. При решении конкретных задач эта схема дополнится специфическими для каждого

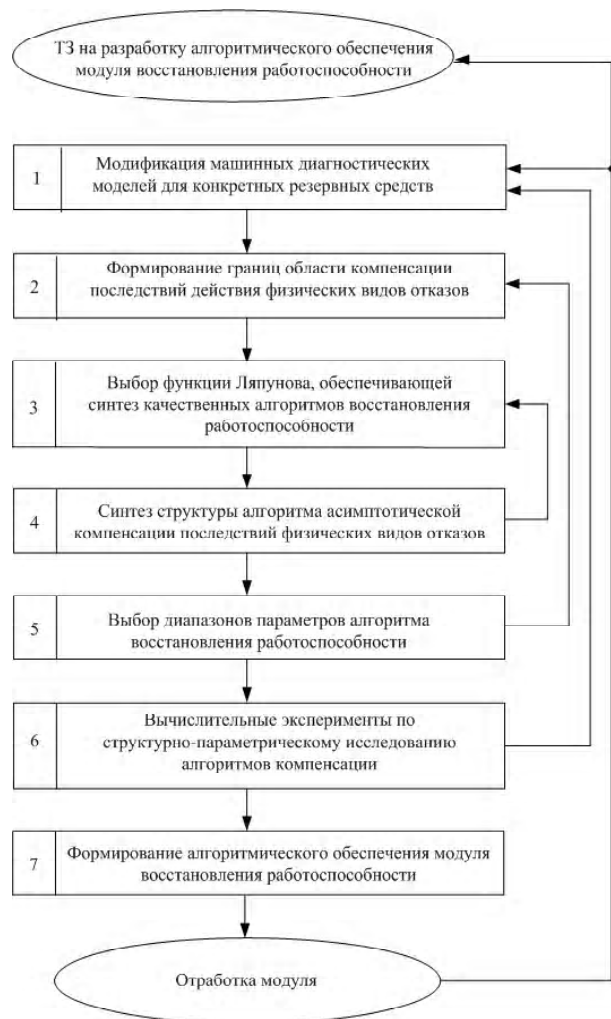


Рис. 6. Схема разработки алгоритмического обеспечения МВР

используемого резервного средства этапами и соответствующими связями, но предложенная схема будет ядром этой новой структуризации.

Этапы в приведенной схеме представлены как самостоятельные задачи, при решении которых используются соответствующие модели и методы их использования. Ряд этих задач в более общей постановке и методы их решения описаны в известных работах, задачи этапов 1, 2, 5, 6 и 7 – это новые специфические задачи, методы решения которых базируются на использовании модифицированных МДМ.

Предложенная схема разработки позволяет упорядочить технологию разработки достаточно нового алгоритмического обеспечения для модулей, производящих восстановление работоспособности динамических объектов в нештатных ситуациях, посредством более гибкого и эффективного использования бортовых избыточных ресурсов. Благодаря результатам автономного глубокого диагностирования в реальном масштабе времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования введено понятие и предложено математическое описание динамического объекта диагностирования и восстановления работоспособности, позволяющие унифицировано и адекватно описывать в типовых блоках и в спутниковой системе как процесс развития нештатных ситуаций, так и процесс их парирования. Кроме того, предложена четырехуровневая схема параметризации прямых признаков отказов, позволившая структурировать процедуры формирования прямых признаков видов отказа, их классов, мест и факта появления отказов в динамических объектах, а также представлен класс ДФМ и класс ЛФМ, связывающих прямые диагностические признаки с косвенными.

Сведена разработка диагностического обеспечения к разработке алгоритмического обеспечения типового модуля ДФС. Изложены модели и средства восстановления работоспособности ССОС с помощью модифицированных диагностических моделей и с использованием второго метода А.М. Ляпунова. Сформирована схема разработки алгоритмического обеспечения типового МВР ССОС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экспериментальная отработка систем управления объектов ракетно-космической техники [Текст] : учеб. пособие

/ А. И. Батырев, Б. И. Батырев, Г. К. Бандарев и др. ; под общ. ред. Ю. М. Златкина, В. С. Кривцова, А. С. Кулика, В. И. Чумаченко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. Ин-т», НПП «Хартон-Арко», 2008. – 501 с.

2. Бровкин, А. Г. Бортовые системы управления космическими аппаратами [Текст]: Учебные пособия / А. Г. Бровкин, Б. Г. Бурдычов, С. В. Гордийко и др. ; под ред. А. С. Сырова – М. МАИ С. В-ПРИНТ, 2010. – 340 с.
3. Кулик, А. С. Концепция обеспечения живучести спутниковых систем управления ориентацией и стабилизацией [Текст] / А. С. Кулик, О. А. Лученко, С. Н. Фирсов // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2011. – №2 (25). – С. 41–47.
4. Кулик, А. С. Содержание задач по обеспечению отказоустойчивости, решаемых в процессе разработки системы управления угловым движением космического летательного аппарата [Текст] / А. С. Кулик, О. А. Лученко, О. И. Гавриленко // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2005. – № 1 (13). – С.154–161.
5. Кулик, А. С. Сигнально-параметрическое диагностирование систем управления [Текст] / А. С. Кулик. – Х. : Гос. аэрокосмический ун-т «ХАИ»; Бизнес Информ, 2000. – 260 с.

Стаття надійшла до редакції 22.02.2012.

Кулік А. С., Лученко О. О., Фірсів С. М.

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДУЛІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СУПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ ОРІЄНТАЦІЇ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ

Наведено уніфікований опис процесів в типових блоках та в супутниковій системі, як процесів розвитку позаштатних ситуацій, так і процесів їхнього відбивання. Крім того запропонована чотирирівнева схема відбивання прямих ознак відмов. Представлені моделі та засоби відновлення працездатності супутникових систем.

Ключові слова: супутникова система орієнтації та стабілізації, надмірність, датчик.

Kulik A. S., Luchenko O. O., Firsov S. N.

ALGORITHMIC SOFTWARE OF DIAGNOSE AND SERVICEABILITY OF ATTITUDE AND STABILIZATION SATELLITE SYSTEM RESTORATION MODULES

Unified description of the processes in the model blocks and the satellite system as a process of development of abnormal situations and process of its parry is presented. In addition, four-level scheme of parameterization of the direct criterion of failure is offered. Models and tools of satellite systems serviceability restoration are presented.

Key words: attitude and stabilization satellite system, redundancy, sensors.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ СИСТЕМНИХ ВИМОГ ДО РІШЕННЯ МАРКЕТИНГОВИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У даній роботі розроблено метод оцінки системних вимог до рішення маркетингових задач для проектування маркетингових інформаційних систем.

Ключові слова: маркетингова інформаційна система, інформаційний простір, системні вимоги, багатомірний інформаційний метапростір.

ВСТУП

У роботі [1] пропонується геометрична інтерпретація процесу розробки програмних систем (ПС) у якості деякої траєкторії, послідовно побудованої у трьох тримірних підпросторах. При цьому сама ПС розглядається у вигляді сукупності таких складових як структури даних, методи і інформаційні технології для їх реалізації. Але у цій моделі також абсолютно не враховується часовий чинник у розвитку архітектури ПС, що не дозволяє прослідкувати характер змін до системних вимог до моделі ПС у міру їх розвитку. У роботі [2] зроблена спроба, в якій обговорюються проблеми трасування вимог до ПС для рішення задач планування і проведення реінжинірингу. Для цього графік «траси вимог» до ПС будується у 3-х мірному просторі: «Архітектура ПС – Середовище функціонування – Час». Проте, при цьому у [2] не приводиться ніяких міркувань щодо того, як детальніше визначити вимірювання відповідних проєкцій цього інформаційного простору (ІП), не задані які-небудь його метрики і тому подібне, і це, на наш погляд, не дозволяє реально використовувати це уявлення для дослідження істотних характеристик маркетингових ПС у процесі їх проектування і еволюційного розвитку.

У [3] сформульовані концептуальні положення щодо загальної структури і функціональних вимог, які висуваються до інтегрованого модельно-технологічного інструментарію (ІМТІ) для проектування інформаційних систем, і, в першу чергу, на основі загальної схеми управління системними вимогами (СВ), а також метафори багатомірного інформаційного метапростору (БІМП), розробляються моделі, інформаційні проєкції і процедури у вигляді доменних моделей онтологій інформаційних систем. Багатомірний інформаційний метапростір і ті окремі інформаційні проєкції (ІП) [4], що входять до його складу, необхідно розглядати як структури, які базуються на знаннях предметної області та для опису яких можуть бути використані такі абстракції інформаційного моделювання як: продукційні системи, семантичні мережі, фрейми [5], розширені концептуальні моделі даних EER, EER+ і модель HERM [6]. Компоненти БІМП

визначаються наступною концепцією: 1) простір П1 – це простір станів системних вимог до рішення маркетингових задач (СВРМЗ), призначений для управління процесами збору, оцінки і обробки інформації про системні вимоги, які повинні бути виконані у процесі автоматизації маркетингових задач при проектуванні і супроводженні маркетингової інформаційної системи; 2) простір П2 – це простір пошуку проєктних рішень (ІПР); 3) простір П3 – це простір формування і застосування моделей оцінки (МО) характеристик проєктних рішень, що отримуються; 4) простір П4 – це простір розробки доменної моделі (ДМ) предметної області (ІПР) об'єкту маркетингу, і одночасно – простір для моделювання різних варіантів еталонної архітектури (ЕА).

Розробка маркетингових інформаційних систем передбачає перехід від макропроектування (інфологічного проектування), на якому визначаються цілі, функції, структура, необхідні матеріальні, фінансові і трудові ресурси, до етапу фізичного мікропроектування, що має на увазі розробку усіх забезпечуючих елементів системи. Таким чином виникає загальна проблема узгодження всіх елементів МІС, що розробляється у процесі проектування: формування цілі системи, визначення системних вимог до рішення маркетингових задач на підприємстві. На основі цього розробляється функціональна структура та інформаційна модель системи, а також математичне забезпечення, алгоритмічне забезпечення, програмне забезпечення, технічне забезпечення та інше. Специфіка створення МІС полягає в тому, що на різних етапах маркетингового планування проектування елементів забезпечень при впровадженні всієї системи може корегуватися до 70 % функцій тобто системних вимог, які автоматизуються.

У зв'язку з цим формування комплексу системних вимог до рішення маркетингових задач на будь-якому підприємстві є визначальною операцією, оскільки зміна навіть декількох системних вимог приводить до необхідності повернення процесу проектування на початковий етап, що вимагає додаткових матеріальних і трудових витрат, а отже збільшення термінів проектування.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Концептуальна складність і багатомірність системних вимог і обумовлює деякі кризисні явища, котрі з'явилися у теорії і практиці розробки інформаційних технологій і програмного забезпечення.

Для визначення компонентів БІМП логічним завдання подальшої розробки інформаційних проєкцій є: а) розробка методу оцінки системних вимог до рішення маркетингових задач у просторі Π_1 ; б) розробка комплексу методів проєктування фазових траєкторій у цьому просторі.

У наслідок ітераційного характеру розробки окремих елементів МІС більшість методик застосовуються впродовж визначення системних вимог, котрі передбачають використання понять: «повнота специфікації маркетингових задач», «ступінь формалізації маркетингових задач», «міра узгодженості маркетингових задач», які забезпечують формалізацію процедур визначення вимог та опису постановки задач і їх фіксацію у проєктних документах у зручній формі для фахівця-маркетолога. У цьому випадку є можливість контролю правильності сформульованих маркетингових рішень і представлення системних вимог у проєкті майбутньої системи у багатомірному просторі з осями: «повнота специфікації – міра узгодженості»; «міра узгодженості – ступінь формалізації» та «ступінь формалізації – повнота специфікації», що забезпечує розробнику та аналітику-маркетологу можливість виявлення і усунення помилок у проєкті, які неможливо виявити при традиційному підході.

Мета роботи: розробка методу оцінки системних вимог до рішення маркетингових задач для проєктування маркетингових інформаційних систем.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЕКСПЕРТНОЇ ОЦІНКИ СИСТЕМНИХ ВИМОГ ДО РІШЕННЯ МАРКЕТИНГОВИХ ЗАДАЧ У ПРОСТОРІ Π_1

Структура простору Π_1 представляє собою середовище, в якому розглядаються фазові траєкторії змін стану окремих СВРМЗ (або деякої сукупності СВРМЗ), які повинні бути виконані у процесі розробки і / або супроводі відповідної МІС.

Загальна модель процесу проєктування у просторі Π_1 припускає, що кожна СВРМЗ є, по суті, альтернативою, яку можна описати за допомогою критеріїв системних вимог: K_1 – повнота специфікації, K_2 – ступінь формалізації, K_3 – міра узгодженості. Оскільки значення цих критеріїв визначаються неточно, тоді простір Π_1 є

нечітка множина і задається за допомогою теорії нечітких множин, як підмножина декартового множення відповідних лінгвістичних змінних (ЛЗ). Відповідно до загального визначення ЛЗ [7] у просторі Π_1 , кожен з критеріїв K_1 , K_2 і K_3 задається як кортеж виду:

$$K_i = \langle \beta, T, X, G, \mu \rangle, \quad (1)$$

де K_i – критерій, $i = 1, 2, 3$; β – ім'я ЛЗ; T – терм-множина нечітких значень ЛЗ; X – універсальна множина їх базових змінних, які визначають ЛЗ; G – множина синтаксичних правил за якими визначаються елементи множини T : вони можуть бути і пустими, тобто $G=0$; μ – функція приналежності (ФП), яка ставить у відповідність кожному значенню базової змінної число в інтервалі $[0, 1]$, що визначає ступінь сумісності цього значення з елементами множини T (нечіткими обмеженнями).

На підставі цього визначення початкові критерії K_1, K_2, K_3 задаються у просторі Π_1 наступними ЛЗ: 1) критерій K_1 ; $\beta_1 = \langle \text{«Повнота специфікації»}; T_1 = \langle \text{«початкова»}, \text{«часткова»}, \text{«повна»}; X = [0,1]; \Phi_{K_1}$ для даного критерію $\mu_{K_1}(X)$ показана на рис. 1. 2) критерій K_2 ; $\beta_2 = \langle \text{«Ступінь формалізації»}; T_2 = \langle \text{«неформально»}, \text{«напівформально»}, \text{«формально»}; X = [0,1]; \Phi_{K_2}$ $\mu_{K_2}(X)$ має вигляд, аналогічний показаному на рис. 1. 3) критерій K_3 ; $\beta_3 = \langle \text{«Міра узгодженості»}; T_3 = \langle \text{«неузгоджено»}, \text{«скориговано»}, \text{«узгоджено»}; X = [0,1]; \Phi_{K_3}$ $\mu_{K_3}(X)$ також може бути представлено у вигляді, аналогічному ФП на рис. 1.

При такому представленні критеріїв K_1, K_2, K_3 у початковому просторі Π_1 утворюється підпростір альтернатив $A \subseteq K_1 \times K_2 \times K_3$ і при цьому $A \subset \Pi_1$. Кожна точка $a_i \in A$ є альтернативною оцінкою стану деякої СВРМЗ, які виражені трьома нечіткими значеннями з відповідних критеріїв K_1, K_2, K_3 . При виконанні деякого проєкту кожне його СВРМЗ еволюціонує в часі і проходить ряд проміжних положень в підпросторі A , тим самим утворюючи деяку фазову траєкторію даного СВРМЗ у A . Потрібно відзначити, що через вибір виду ФП для нечітких змінних весь підпростір A , а також і будь-яка його область, є опукла нормальна нечітка множина альтернативних значень СВРМЗ.

Виходячи з емпіричних міркувань про характер альтернативних значень оцінки стану СВРМЗ у процесі проєктування, можна стверджувати, що у підпросторі A існують 4 області, котрі відповідають певним типам значень (станів) деяких СВРМЗ $a_i \in A$, а саме:

$$\left. \begin{aligned} & - A^{(0)} \subset A - \text{область невизначених значень оцінок СВРМЗ;} \\ & - A^{(1)} - \text{область ефективних значень оцінок СВРМЗ, і при цьому } A^{(1)} \cap A^{(0)} = 0; \\ & - A^{(2)} - \text{область допустимих значень оцінок СВРМЗ, при цьому } (A^{(2)} \subset A^{(1)}) \text{ і } A^{(2)} \neq 0; \\ & - A^{(3)} = A \setminus (A^{(0)} \cup A^{(1)}) \text{ область слабо-певних значень СВРМЗ.} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

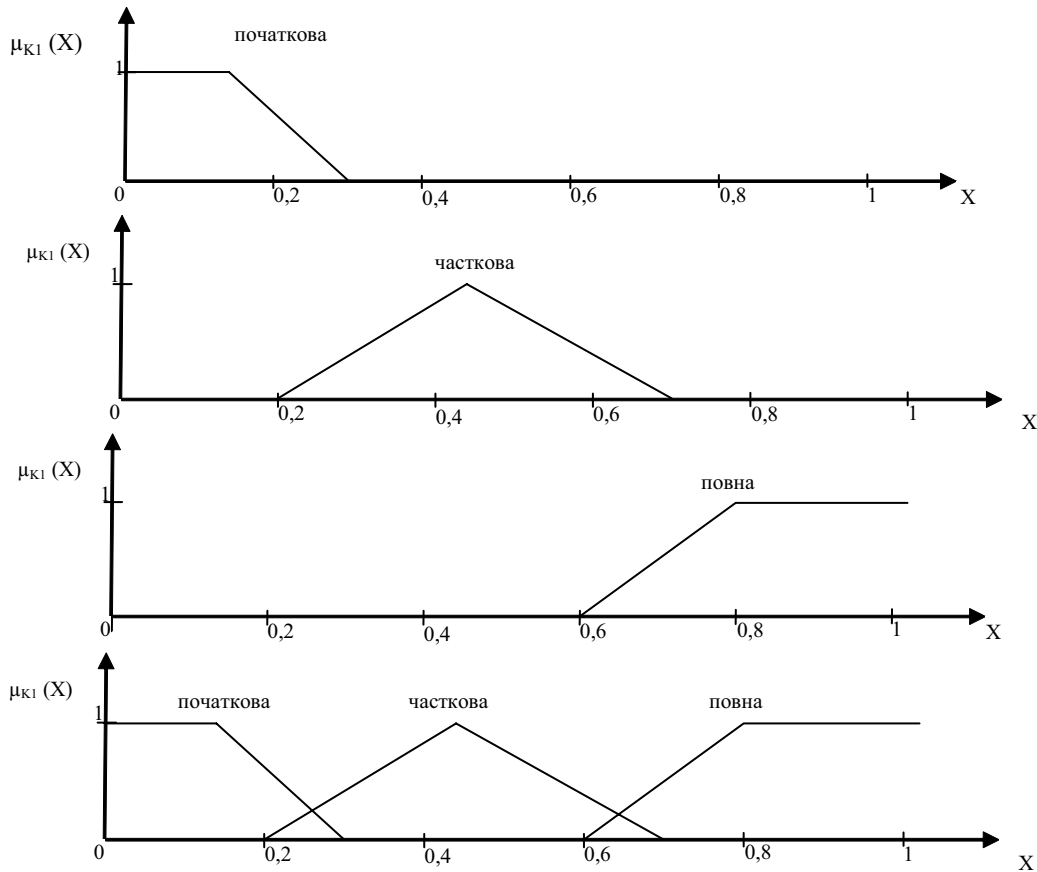


Рис. 1. Функції приналежності для лінгвістичної змінної «Повнота специфікації»

З (2) видно, що будь-яке допустиме рішення є також і ефективним, оскільки $(A^{(2)} \subset A^{(1)})$. Тоді геометрична інтерпретація підпростору альтернативних оцінок СВРМЗ може бути представлена у вигляді, показаному на рис. 2. Будь-яке альтернативне значення оцінки СВРМЗ у про-

цесі виконання проекту представляється точкою в одній з областей (2) підпростору $A \subset П1$.

Оскільки кожна така область випукла, то з геометричних міркувань ясно, що існують 4 граничних, якісно різних значень стану деякої СВРМЗ, які відповідають у просторі A наступним точками:

$$\left. \begin{aligned}
 a_1 &= \sup(A^{(0)}) - \text{верхня гранична точка області } A^{(0)}; \\
 a_2 &= \inf(A^{(1)}) = \inf(A^{(2)}) - \text{нижня гранична точка області } A^{(1)} \text{ і } A^{(2)}; \\
 a_3 &= \sup(A^{(2)}) - \text{верхня гранична точка області } A^{(2)}; \\
 a_4 &= \sup(A^{(1)}) - \text{верхня гранична точка області } A^{(1)}, \text{ яка належить межі усього простору } A.
 \end{aligned} \right\} (3)$$

Вважатимемо, що на множині альтернатив у підпросторі A можна ввести відношення переваги, тобто $a_1 < a_2 < a_3 < a_4$ [8]. Нехай a_C – деяке довільне значення альтернативної оцінки певної СВРМЗ у підпросторі A . Тоді для управління рухом цієї СВРМЗ по її фазовій траєкторії необхідно розробити механізм визначення належності даної СВРМЗ до однієї з областей $A^{(0)}-A^{(1)}$. Розглянемо нову ЛЗ, що задається як: $\beta =$ «Оцінка поточного стану СВРМЗ»; $T =$ «невизначено», «слабовизначено», «визначено», «виконано»; $X = [0,1]$ – універсальна множина базових змінних, яка є підмножиною значень (деяких точок) у просторі A , тобто $R(X) \subseteq A$.

При таких допущеннях про механізми оцінки різних альтернатив, не втрачаючи спільності, можливо ввести до розгляду наступну таблицю критеріальних оцінок для СВРМЗ $a_1, a_2, a_3, a_4, a_c^{(k)}$, де a_1, a_2, a_3, a_4 – граничні точки у просторі A , а $a_c^{(k)} k = \overline{1,3}$ – деякі довільні альтернативи СВРМЗ, що підлягають оцінці (див. табл. 1), де представлені як якісні оцінки критеріїв так і їхні кількісні значення.

Для вирішення сформульованої вище проблеми удосконалюємо евристичний метод порівняння нечітких оцінок СВРМЗ у підпросторі A :

– на 1 етапі – для кожного критерію K_i визначимо відповідну ЛЗ і задану ФП, експертним шляхом – див. рис. 1;

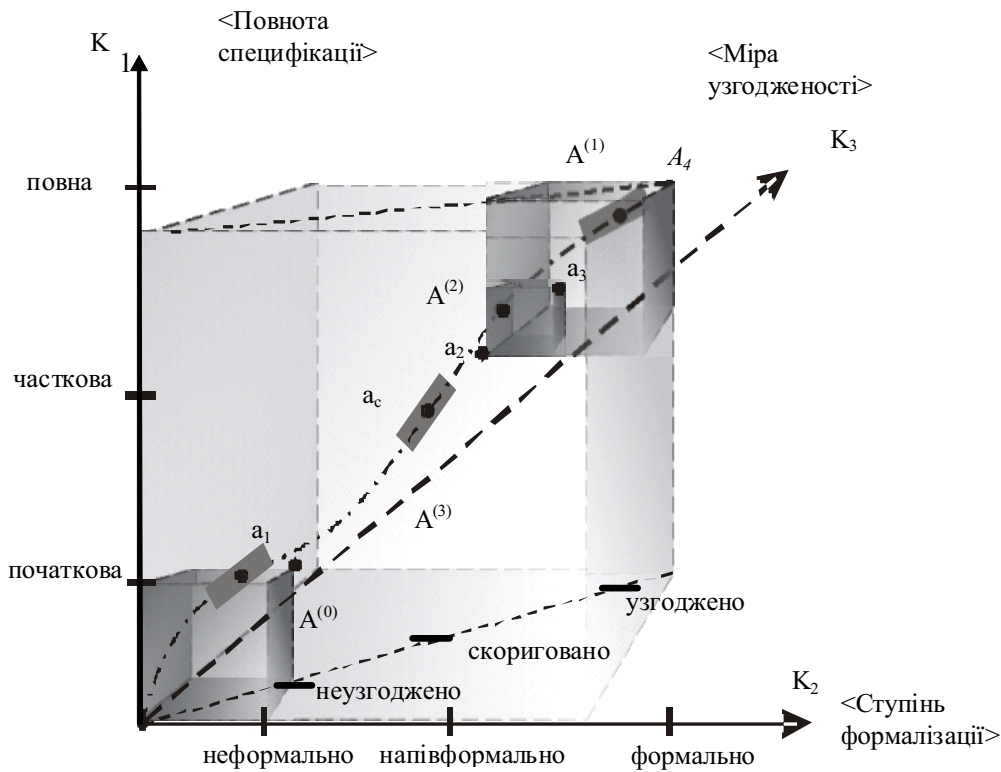


Рис. 2. Геометрична інтерпретація підпростору альтернатив у ПІ

Таблиця 1. Критеріальні оцінки

Альтернатива	Критерій		K_1		K_2		K_3	
	1	a_1	0–0,3	початкова	0–0,3	неформально	0–0,3	неузгоджено
2	a_2	0,2–0,7	часткова	0,2–0,7	напівформально	0,2–0,7	скориговано	
3	a_3	0,2–0,7	часткова	0,6–1,0	формально	0,2–0,7	скориговано	
4	a_4	0,6–1,0	повна	0,6–1,0	формально	0,6–1,0	узгоджено	
5	$a_c^{(1)}$	0–0,3	початкова	0,2–0,7	напівформально	0,6–1,0	узгоджено	
6	$a_c^{(2)}$	0–0,3	початкова	0,2–0,7	напівформально	0,2–0,7	скориговано	
7	$a_c^{(3)}$	0,2–0,7	часткова	0,6–1,0	формально	0–0,3	неузгоджено	

– на 2 етапі – визначаємо за кожним з критеріїв K_1, K_2, K_3 альтернативні оцінки стану СВРМЗ: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_c^{(k)}$ і які задаємо за допомогою значень ЛЗ $R_i^{(j)}$, де i – номер СВРМЗ, j – номер критерію за котрим оцінюється СВРМЗ. Ступінь важливості критеріїв K_j , задаються також значенням відповідної ЛЗ, котра позначається як W_j . Відповідно до цього підходу, перший критерій K_1 визначимо як W_1 = «важливий», другий K_2 – як W_2 = «достаньох важливий», третій – як W_3 = «дуже важливий»;

– на 3 етапі – обчислюємо інтегральну оцінку кожної альтернативи. Оскільки альтернатива a_i оцінюється за трьома критеріями за допомогою значень ЛЗ, яка має ФІП трапецієподібного вигляду, то зважена оцінка a_i^{Σ} альтернативи a_i за усіма критеріями може бути знайдена шляхом

знаходження лівої a_i^l і правої a_i^r межі підстави трапеції; a_i^* – лівої і a_i^{**} правої межі верхньої підстави трапеції.

Ці значення знаходимо за математичними моделями альтернативної оцінки системних вимог вигляду [1]:

$$a_i^l = \sum_{j=1}^3 W_j^l R_i^l(j), \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

$$a_i^* = \sum_{j=1}^3 W_j^* R_i^*(j), \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

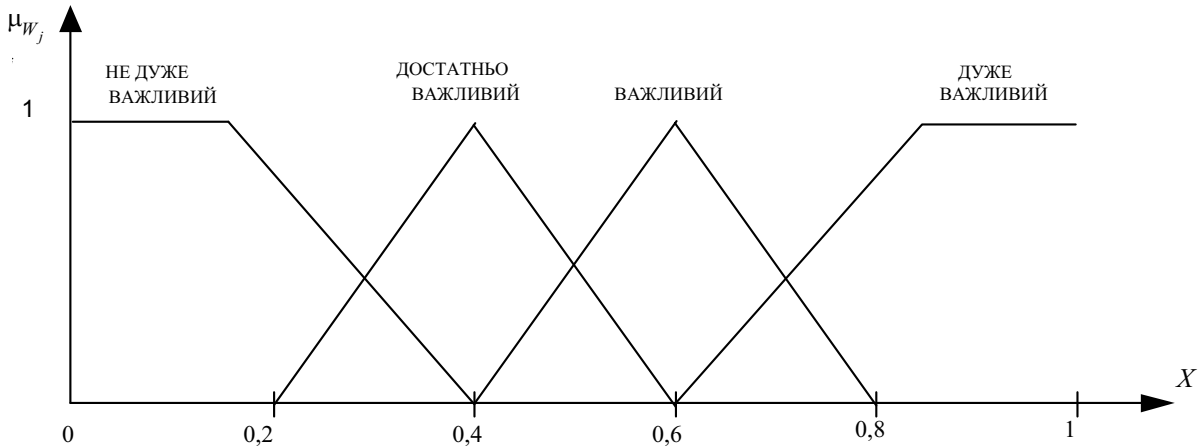


Рис. 3. Функція приналежності для значення лінгвістичної змінної «Важливість критерію оцінки СВРМЗ» інтегральної оцінки кожної альтернативи

$$a_i^{**} = \sum_{j=1}^3 W_j^{**} R_i^{*(j)}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$a_i'' = \sum_{j=1}^3 W_j'' R_i^{*(j)}, \quad i = \overline{1, n}; \quad (7)$$

де n – загальна кількість альтернатив, для яких знаходиться інтегральна оцінка; $R_i^{*(j)}$ – значення лівої межі нижньої підстави трапеції, тобто значення ЛЗ, що задається для альтернативи a_i за критерієм K_j ; $R_i^{*(j)}$ – значення лівої межі верхньої підстави трапеції, тобто значення ЛЗ, що задається для альтернативи a_i за критерієм K_j ; $R_i^{*(j)}$ – значення правої межі верхньої підстави трапеції, тобто значення ЛЗ, що задається для альтернативи a_i за критерієм K_j ; $R_i^{*(j)}$ – значення правої межі нижньої підстави трапеції, тобто значення ЛЗ, що задається для альтернативи a_i за критерієм K_j ; W_j^* – значення лівої межі верхньої підстави трапеції, тобто значення ЛЗ, що задається для оцінки критерію W_j ; W_j^{**} – значення правої межі верхньої підстави трапеції, тобто значення ЛЗ, що задається для оцінки критерію W_j ; W_j'' – значення правої межі нижньої підстави трапеції, тобто значення ЛЗ, що задається для оцінки критерію W_j .

Відповідно до математичних моделей (4)–(7) і враховуючи вид ФП, представлених на рис. 1 і 3, знаходимо наступні значення поточних альтернативних оцінок:

$$\left. \begin{aligned} a_1^{\Sigma} a_1' &= 0 \cdot 0,4 + 0 \cdot 0,6 + 0 \cdot 0,8 = 0, \\ a_1^* &= 0 \cdot 0,6 + 0 \cdot 0,4 + 0 \cdot 0,8 = 0, \\ a_1^{**} &= 0,1 \cdot 0,6 + 0,1 \cdot 0,4 + 0,15 \cdot 1 = 0,25, \\ a_1'' &= 0,3 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 1 = 0,72, \\ a_2^{\Sigma} a_2' &= 0,21, \quad a_2^* = 0,75, \quad a_2^{**} = 0,83, \quad a_2'' = 1,61, \\ a_3^{\Sigma} a_3' &= 0,32, \quad a_3^* = 0,91, \quad a_3^{**} = 1,07, \quad a_3'' = 1,76, \\ a_4^{\Sigma} a_4' &= 0,6 \cdot 0,4 + 0,6 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,6 = 0,66, \\ a_4^* &= 0,8 \cdot 0,6 + 0,8 \cdot 0,4 + 0,8 \cdot 0,8 = 1,44, \\ a_4^{**} &= 1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 0,4 + 1 \cdot 1 = 2, \\ a_4'' &= 1 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,6 + 1 \cdot 1 = 2,4, \\ a_5^{\Sigma} a_5' &= 0,31, \quad a_5^* = 0,8, \quad a_5^{**} = 1,22, \quad a_5'' = 1,69, \\ a_6^{\Sigma} a_6' &= 0,13, \quad a_6^* = 0,48, \quad a_6^{**} = 0,62, \quad a_6'' = 1,29, \\ a_7^{\Sigma} a_7' &= 0,2, \quad a_7^* = 0,59, \quad a_7^{**} = 0,82, \quad a_7'' = 1,46. \end{aligned} \right\} (8)$$

Після того, як інтегральні оцінки a_i^{Σ} знайдено за виразами (8), необхідно порівняти відповідні альтернативи оцінок СВРМЗ. Для цього вводиться нечітка множина I , яка задана на множині альтернатив $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$, і значення відповідної ФП інтерпретується як характеристика ступеня того, наскільки оцінка альтернативи СВРМЗ a_i є кращою, ніж оцінка альтернативи СВРМЗ a_4 , і це значення дорівнює ординаті точки перетину зваженої оцінки альтернативи і оцінки якнайкращої альтернативи a_4 . Геометрично це добре видно з графіків функцій на рис. 4.

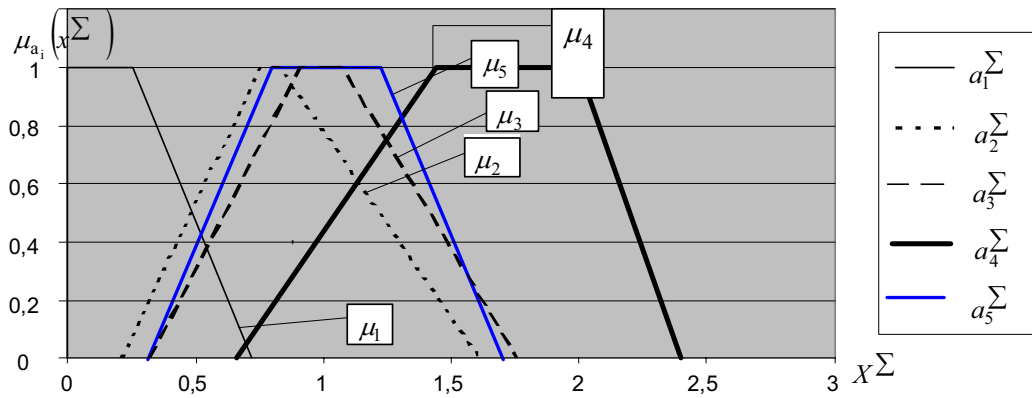


Рис. 4. Порівняння різних альтернатив оцінки системних вимог у просторі ПІ

Аналітично відповідні значення m_i обчислюємо за математичною моделлю [11]:

$$\mu_i = \sup_{x \geq y} \min(\mu_i(x), \mu_{a_4}(y)) \quad i = \overline{1, n} \quad x, y \in X^\Sigma \quad (9)$$

Результати розрахунку математичної моделі (9) приймають наступні значення:

$$\mu_1=0,06; \mu_2=0,6; \mu_3=0,74; \mu_4=1; \mu_5=0,82; \mu_6=0,44; \mu_7=0,56.$$

– на 4 етапі – характеризуємо розрахунки за моделлю (9) значення m_i відстань кожного стану СВРМЗ a_i від стану, коли СВРМЗ не визначені (це область $A^{(0)}$ рис. 2). Таким чином, ці значення m_i визначають розташування граничних точок a_1, a_2, a_3, a_4 на новому універсумі значень базової множини для ЛЗ «Оцінка поточного стану СВРМЗ».

– на 5 етапі – на основі результатів, отриманих на етапах 1–4 даного методу, для цієї ЛЗ «Оцінка поточного стану СВРМЗ» будуємо відповідну ФП. Для цього доцільно вибрати П – подібну функцію, оскільки існуючі евристички рекомендують саме такий тип ФП для вирішення подібного класу задач [9–10].

Таким чином, за допомогою даного методу коректно вирішено поставлену задачу: для будь-якого поточного значення альтернативної нечіткої оцінки деяких СВРМЗ можливе визначення їх положення щодо інтервалів (областей), заданих у просторі ПІ.

ВИСНОВКИ

Уперше запропоновано метод альтернативної оцінки системних вимог до рішення маркетингових задач для проектування маркетингових інформаційних систем, який на відміну від існуючих оптимізаційних моделей, які визначають мінімізацію фінансових і матеріальних витрат поряд з максимізацією функцій системи, дозволяють коректно і ефективно розраховувати системні вимоги у просторово-траєкторному підході для МІС у відповідності до потреб підприємства.

Удосконалено метод порівняння нечітких оцінок системних вимог до рішення маркетингових задач у інформаційному середовищі 3-х мірного простору, який на

відміну від моделей лінійного програмування, дозволяє визначити фазову траєкторію стану окремих СВРМЗ (або деякої сукупності СВРМЗ) за допомогою апарату нечітких множин і лінгвістичних змін.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ward, J. Strategic planning for information systems / Ward J. – Wiley, 1997. – 586 pp.
2. Neumoïn, V. Software Requirements Traceability in Reengineering Perspective / V. Neumoïn // Проблеми програмування. – 2002. – № 1–2. – С. 91–97.
3. Бахманн, П. Программные системы : пер. с нем. / П. Бахманн. – М. : Финансы и Статистика, 1981. – 287 с.
4. Левикін, В. М. Розробка просторово-траєкторного підходу для проектування маркетингових інформаційних систем / Левикін В. М., Костенко О. П. // Сьома дистанційна науково-практична конференція за міжнародною участю «системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. СППР-2011». Червень, 2011 р., Україна, м. Київ. – С. 50–53.
5. Брябрин, В. М. Ф-язык: формализм для представления знаний в интеллектуальной диалоговой системе / В. М. Брябрин // Прикладная информатика. Сб. статей. – М. : Финансы и статистика, 1981. – С. 73–103.
6. Крег, Л. Применение UML и шаблонов проектирования : пер. с англ. / Л. Крег. – М. : Вильямс. – 2001. – 396 с.
7. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений /Л. А. Заде. – М. : Мир, 1976. – 363 с.
8. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной / [Борисов А. Н., Алексеев А. В., Крумберг О. А. и др.]. – Рига, 1982. – 256 с.
9. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – С. Пб. : БХВ-Петербург, 2003. – 719 с.
10. Андерсон Джордж В., SAP за 24 години : пер. з англ / Д. В. Андерсон, Д. Ларокка ; за наук. ред. Б. М. Коцовського. – Дніпропетровськ: Баланс Бізнес Букс, 2007. – 432 с.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2011.

Після доробки 17.02.2012.

Левыкин В. М., Костенко А. П., Петриченко А. В.
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СИСТЕМНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К РЕШЕНИЮ МАРКЕТИНГОВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В данной работе разработан метод оценки системных требований к решению маркетинговых задач для проектирования маркетинговых информационных систем.

Ключевые слова: маркетинговая информационная система, информационное пространство, системные требования, многомерный информационный метaprостранство.

Levykin V. M., Kostenko O. P., Petrichenko O. V.

METHOD DEVELOPMENT FOR SYSTEM DEMANDS ASSESSMENT TO THE DECISION OF MARKETING TASKS FOR INFORMATION SYSTEMS PROJECTING

In this work the method of estimation of system requirements to the decision of marketing tasks are developed for planning of the marketings informative systems.

Key words: marketing informative system, informative space, system requirements, metaphoric multidimensional information meta-space.

УДК 681.3:378.146

Різун Н. О.¹, Тараненко Ю. К.²

¹Канд. техн. наук, доцент Дніпропетровського університету економіки та права ім. А. Нобеля

²Д-р. техн. наук, старший науковий співробітник Дніпропетровського університету економіки та права ім. А. Нобеля

МОБІЛЬНА СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ТЕСТУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ВНЗ

Запропоновано мобільну систему комп'ютерного тестування, яка дозволяє інтенсифікувати навчальний процес завдяки забезпеченню мобільності, економічності та конфіденційності тестового контролю шляхом використання технології короткочасного сеансу бездротового зв'язку з сервером, що розміщений у Internet-мережі та зберігає базу тестових завдань та засоби ідентифікації результатів тестування.

Ключові слова: мобільна система, навчальний процес, тестовий сеанс, бездротовий зв'язок.

ВСТУП. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Вищий навчальний заклад – це одна з найважливіших складних соціально-економічних систем суспільства, що створює специфічний інтелектуальний ресурс, який інвестується в усі галузі народного господарства. У сучасній освіті сьогодні відбуваються кардинальні зміни, а саме – інтеграція Болонського процесу в систему освіти України, та, у зв'язку з цим – зміна освітянських парадигм, впровадження особистісно-орієнтованого підходу до навчання, моделей розвиваючих педагогічних. З іншого боку, ці зміни супроводжуються стрімкою інформатизацією суспільства та зростанням потреб й вимог народного господарства у дипломованих спеціалістах якісно нового рівня кваліфікації та безперечно високої конкурентоспроможності. Все це виводить на перший план проблеми вдосконалення методів, організації, форм і засобів навчання, і, найголовніше, методологій контролю та оцінки якості навчальних досягнень та технологій оперативної й ефективної корекції навчального процесу.

Тестова форма комп'ютерного контролю знань є однією з найактуальніших сучасних методологічних прийомів інтенсифікації процесу навчання та технологічних засобів ефективної організації зворотного зв'язку системи із об'єктом керування. Комплексне використання тестування у якості інструменту безперервного моніторингу та контрольованого оцінювання знань, допоміжного інноваційного підходу до навчання та самонавчання, стимулюючого та організуючого фактору будівництва продуктивної траєкторії навчального процесу є однією з головних парадигм реорганізації сучасної освіти України

[1]. Тому пошук ефективних шляхів розробки та втілення у навчальний процес прогресивних інформаційних систем комп'ютерного тестування, що призначені для інтенсивного інтерактивного управління навчальним процесом, представляє собою важливу наукову проблему.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ПУБЛІКАЦІЙ

На сучасному етапі розвитку інформаційних та телекомунікаційних технологій ринок програмних продуктів у галузі освітянських послуг заповнений різноманітними пропозиціями систем комп'ютерного тестування, але більшість з них мають характерні недоліки [2, 3, 4], а саме:

- орієнтація на конкретну вузьку групу дисциплін, для яких може використовуватися тестова оболонка;
- надмірна універсальність та «перевантаженість» програми методиками та моделями, які практично не застосовуються більшістю викладачів;
- недотримання технологічних стандартів програмування, що значно перешкоджає подальшому розвитку програм;
- жорсткі обмеження до необхідного програмного забезпечення та технічних характеристик (зокрема, потужності) комп'ютерів, на яких повинні розгортатися інформаційні системи тестування;
- високі вимоги до швидкості та часу використання ресурсів Internet [5, 6].

Виходячи з цих недоліків, а також згідно з поставленими президентом України задачами щодо інноваційного розвитку освіти, підвищення її якості та доступності, а також інтеграції в Європейський освітній простір шля-

хом впровадження у учбово-виховний процес інформаційно-комунікаційних технологій та розробки національної системи моніторингу рівня якості освіти, з одного боку, та реаліями аналізу сучасного стану парку комп'ютерів більшості ВНЗ України, з іншого, у якості основних технологічних принципів організації систем комп'ютерного тестування на сучасному етапі пропонуються наступні (табл. 1).

З урахуванням наведених принципів, **метою статті** є інтенсифікація навчального процесу шляхом підвищення ступеню мобільності, економічності (ефективності) та конфіденційності уніфікованої системи комп'ютерного тестування, що пропонується авторами.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мобільна система комп'ютерного тестування передбачає реалізацію наступних технологічних та методологічних рішень:

1. Використання у якості технічних засобів проведення тестового контролю знань портативні персональні комп'ютери викладача (ППКВ) та студента (ППКС), причому комп'ютер викладача обов'язково додатково повинен бути забезпечений засобом для зв'язку з Internet-мережею – радіо-модемом.

2. Розміщення бази даних тестових завдань на територіально відокремленому сервері, налаштування доступу до якого здійснюється по мережі Internet.

Таблиця 1. Технологічні принципи організації систем комп'ютерного тестування

Принцип	Концепція реалізації
Максимально ефективна інтеграція в навчальне інформаційне середовище	За результатами досліджень, у якості базового ліцензійного програмного забезпечення більшість ВНЗ України використовує MS Office різних версій. У якості інструментальної бази для створення уніфікованих сучасних тестових оболонок доцільно використовувати засоби саме цього програмного продукту (із використанням можливостей програмування у VBA)
Модульність	Реалізація як мінімум двох форм модулів систем тестування: «Модуль-Викладач» та «Модуль-Студент» для розмежування функцій користувачів та цільового призначення програмної оболонки
Відокремленість оболонки тестування від бази даних тестів	З метою усунування обмежень щодо технічних вимог до комп'ютерів, якими оснащена більшість ВНЗ, базу даних тестових завдань доцільно розміщувати на потужному (можливо віддаленому) сервері
Мінімізація ресурсів пам'яті	Доцільним рішенням задачі використання максимально сумісних форматів файлів системи тестування та бази даних із оптимальними параметрами об'єму пам'яті, що потребується, є використання для їх створення єдиної програмної платформи (наприклад, MS Access)
Мережева організація та використання Інтернет-технологій	З метою забезпечення максимальної економічності та ефективності використання мережних ресурсів раціонально використовувати режими: – короткочасного передання бази тестових завдань з серверу, що розміщений у Internet-мережі, засобами бездротового зв'язку; – роздавання модулю «Модуль-Студент» та бази даних засобами внутрішнього мережевого забезпечення або бездротового зв'язку; – надання можливості мобільного (дистанційного) режиму роботи системи тестування
Документування та ведення статистики	Результати тестування повинні представлятися у числовій та текстовій формах, повинні легко експортуватися в формат електронних таблиць MS Excel для інтеграції із іншими програмами
Багатоваріантність	Програмний продукт повинен передбачати широкий спектр сфер використання, таких як: – за формами тестових завдань: одиночний та множинний вибір, на послідовність та відповідність, відкрита форма, використання графіки; – за формами проведення тестування: групове настроювання, індивідуальне настроювання; – за метою тестування: поточний контроль, підсумковий контроль, державний екзамен, навчання, самонавчання; – за формами організації навчання: денна, вечірня, заочно-дистанційна
Захищеність	З метою досягнення максимального рівня захищеності та конфіденційності потрібно: – використовувати методи шифрування та дешифрування бази тестових завдань та результатів тестування; – реалізовувати технології автоматичного вилучення тестової оболонки та бази тестових завдань з комп'ютерів користувачів; – гарантувати процедуру незалежної ідентифікації результатів тестування на віддаленому сервері

3. Використання у якості необхідної та достатньої умови забезпечення можливості функціонування зазначеної системи навчання наявність на кожному з ППКК стандартного набору програмного забезпечення MS Office, що включає системи управління базами даних MS Access.

4. Розробка уніфікованої системи комп'ютерного тестування розроблена засобами програмування VBA MS Access, при чому файли бази даних тестових завдань та програмної оболонки тестування мають однаковий тип файлу *.accdb.

Функціональна схема запропонованої мобільної системи комп'ютерного тестування реалізується наступним чином (рис. 1).

Методика використання наведеної мобільної системи включає наступні кроки:

Крок 1. На початку тестового сеансу викладач на портативному персональному комп'ютері у модулі «Викладач» виконує налаштування вимог запиту до бази даних тестових завдань, що міститься на сервері, у вигляді сигналу списку ZAP необхідних для поточного тестового сеансу дисциплін та/або навчальних тем та налаштовує короткочасний зв'язок через радіо модем із Internet-мережею.

Крок 2. Сервер, що забезпечений системою прийняття та передачі сигналів запитів до бази даних тестових завдань, виконує запит ZAP до бази даних тестових завдань та передає результати запиту на портативний персональний комп'ютер викладача у вигляді сигналу BAZA_TEST у форматі бази даних СУБД MS Access.

Крок 3. Після отримання та збереження результатів запиту на портативний персональний комп'ютер виклада-

ча короткочасний зв'язок через радіо модем із Internet-мережею закінчується. У подальшому мобільна система навчання буде продовжувати роботу у режимі тонкого клієнту.

Крок 4. Викладач на портативному персональному комп'ютері у модулі «Викладач» виконує:

- налаштування параметрів поточного тестового сеансу, причому, ці параметри можуть бути як загальними для усієї групи користувачів, так і індивідуальними для кожного користувача (рис. 2);

- передавання на портативні персональні комп'ютери користувачів налаштованого модулю «Студент» PROG_TEST_SEANS із встановленими параметрами поточного тестового сеансу та сформованою за результатами запиту до серверу бази даних тестових завдань BAZA_TEST.

Крок 5. Після отримання та збереження програмного модулю PROG_TEST_SEANS та бази даних BAZA_TEST користувач на портативному персональному комп'ютері:

- здійснює персональну ідентифікацію, використовуючи програмний модуль активації тестового сеансу;

- здійснює операцію тестування рівня знань, використовуючи програмний модуль безпосередньо для проведення тестового сеансу. Причому, користувачеві одразу надається сигнал повного списку тестових завдань, порядок відповідей на які він може регулювати самостійно, а також, у випадку необхідності, змінювати (коригувати) надану відповідь;

- отримує результати REZ тестування із додатковою інформацією про невиконані тестові завдання у вигляді списку цих завдань та наданих на них відповідей (рис. 3).

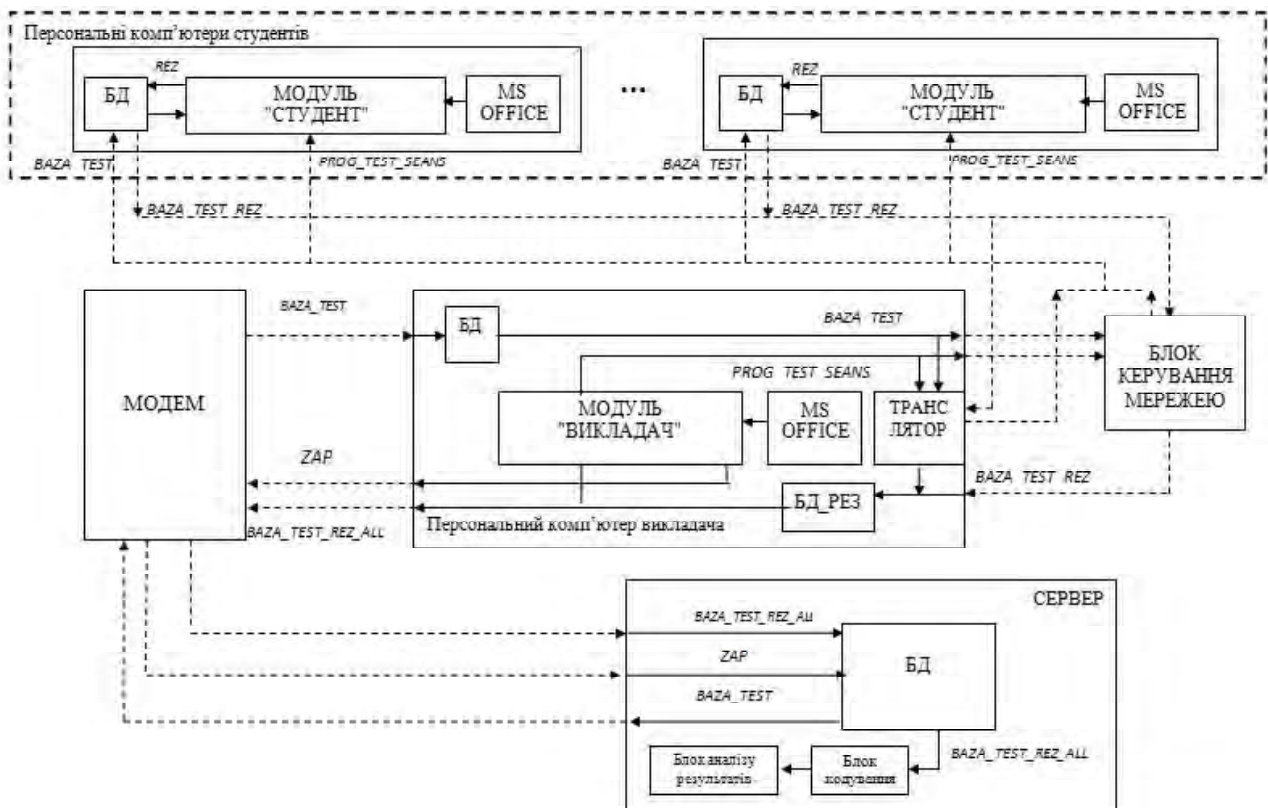


Рис. 1. Функціональна схема мобільної системи комп'ютерного тестування

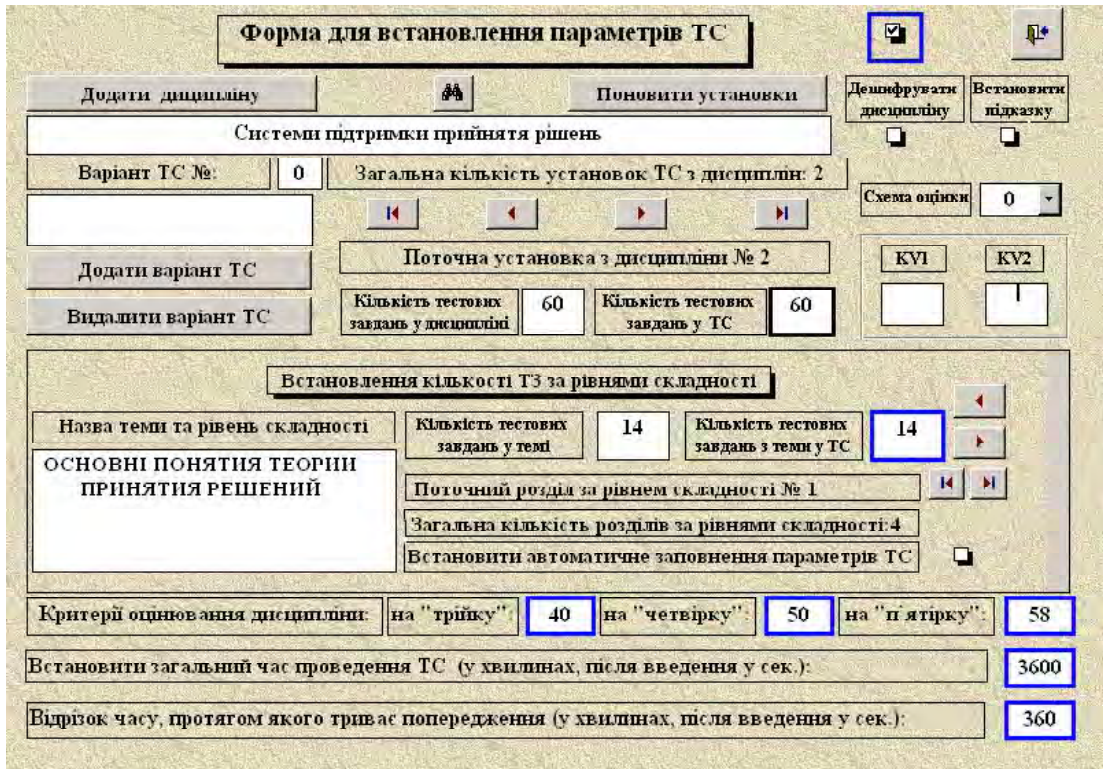


Рис. 2. Інтерфейс вікна налаштування тестового сеансу



Рис. 3. Інтерфейс вікна результатів тестового сеансу

Крок 6. Результати тестування кожного студента *REZ* приєднуються до бази даних тестових завдань та зберігаються (*BAZA_TEST_REZ*) на портативному персональному комп'ютері користувача.

Крок 7. По закінченню часу, встановленого у параметрах поточного тестового сеансу на проведення групового або індивідуального тестування, викладач із портативного персонального комп'ютера з використанням програмного модуля «Викладач» та засобів внутрішнього мережевого забезпечення або технічних засобів передавання інформації (наприклад Bluetooth) налаштовує сеанс:

– повернення з портативних персональних комп'ютерів користувачів сигналів бази даних тестових завдань із результатами тестування *BAZA_TEST_REZ*;

– одночасного вилучення з портативних персональних комп'ютерів користувачів програмного засобу проведення комп'ютерного тестування *PROG_TEST_SEANS*.

Крок 8. Після одержання та збереження результатів тестування усіх студентів викладач з портативного персонального комп'ютера вдруге налаштовує короточасний зв'язок через радіо-модем із Internet-мережею для передавання сигналу бази даних тестових завдань

BAZA_TEST_REZ_ALL із результатами тестування на сервер, забезпечений засобами кодування/декодування та аналізу результатів тестування.

Враховуючи додаткові вимоги щодо багатоваріантності інформаційної системи, слід зазначити, що зазначена мобільна система навчання також може бути індивідуально сконфігурована для організації тестування знань студентів вечірньої та заочно-дистанційної форм навчання або у випадку відсутності (за поважною причиною) особи, що навчається, на підсумковому контролі. У даному випадку передавання програмного модулю «Студент» із встановленими параметрами поточного тестового сеансу та сформованою за результатами запиту до серверу базою даних тестових завдань *BAZA_TEST* на портативні персональні комп'ютери користувачів буде виконуватися шляхом налаштування короткочасного зв'язку через радіо модем з Internet-мережею. У зазначеній конфігурації системи, з метою запобігання підказування користувачеві правильних відповідей, сеанс комп'ютерного тестування може супроводжуватися відеозаписом (наприклад, за допомогою засобів стандартного програмного компонента пакета Microsoft Office – програми MS OneNote) із подальшим поверненням з портативних персональних комп'ютерів студентів як бази даних тестових завдань із результатами тестування *BAZA_TEST_REZ*, так й відеозапису сеансу тестування *VIDEO_TEST* та автоматичним вилученням означених файлів з комп'ютера студента по закінченню сеансу.

Запропонована мобільна система навчання може також бути рекомендована для застосування у роботі акредитаційних (агестаційних) комісій як технологічна та методична гарантія ефективного, незалежного та об'єктивного інструменту оцінювання знань студентів, який забезпечує можливість використання ізольованої бази даних тестових завдань, що зберігається із максимальним ступенем конфіденційності на віддаленому сервері у мережі Internet, із подальшою ідентифікацією закодованих персональних результатів тестування безпосередньо на віддаленому сервері, запобігаючи втручанню у цей процес як членів комісії, так і представників вищого навчального закладу, що акредитується.

ВИСНОВКИ

Таким чином, запропонована авторами універсальна мобільна система комп'ютерного тестування дозволяє комплексно інтенсифікувати процес навчання завдяки:

– забезпеченню мобільності, економічності (ефективності) та конфіденційності процесу тестування шляхом розробки та реалізації технології зберігання та використання короткочасного сеансу передання бази тестових завдань з серверу, що розміщений у Internet-мережі, засобами бездротового зв'язку;

– вирішенню проблеми наявності обмежень із точки зору технічних характеристик, а також дистанційного розмежування комп'ютерів викладача та студентів у процесі організації тестового сеансу.

Запропонована мобільна система навчання реалізована у програмній оболонці «Мережне тестування», яка застосовується на кафедрі економічної кібернетики і математичних методів в економіці Дніпропетровського університету ім. А. Нобеля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Згуровский, М. З.* Общество знаний и информации – тенденции, вызовы, перспективы [Текст] / М. З. Згуровский // Зеркало недели. – 2003. – №19 (444). – 24 мая.
2. Автоматизована система тестування, навчання та моніторингу [Текст]: патент на корисну модель №43616U. Україна: МПК G09B 7/00 / Ціделко В. Д., Яремчук Н. А., Шведова В. В.; Заявник та патентовласник: Національний технічний Університет України «Київський політехнічний інститут». – № u200902620, заявл. 23.03.2009, опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16, 2009.
3. Комплекс засобів для забезпечення інтерактивного навчального процесу [Текст]: патент на корисну модель № 33619U. Україна: МПК G09B 5/00 / Андрущенко В. П., Кудін А. П., Жабеев Г. В., Падалка М. П.; Заявник та патентовласник: Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова. – заявл. 12.12.2007; опубл. 25.06.2008, бюл. №23, 2008.
4. Мобільна комп'ютерна система навчання [Текст]: патент на корисну модель № 77 991 U1. Росія: G09B 5/00, G09B 21/06 / Назаренко А. П., Паршин Г. Н., Сафронова Л. І., Станевський А. Г.; Патентообладатель: Назаренко А. П., Паршин Г. Н., Сафронова Л. І., Станевський А. Г. – № 2007102241/22, заявл. 23.01.2007, опубл. 0.11.2008, бюл. № 31, 2008.
5. *Калугян, К. Х.* Компьютерная система тестирования знаний как компонент информационной научно-образовательной среды ВУЗа [Текст] / К. Х. Калугян, С. М. Щербакон // Вестник Академии. – 2005. – № 1 (20). – С. 61–66.
6. *Маркус, Л. И.* Универсальные программы тестового контроля знаний в ВУЗе [Текст] / Л. И. Маркус, А. К. Талыгин // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: Материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ), посвященной 145-летию. – МГТУ «МАМИ» Книга 12, Москва, МГТУ «МАМИ». – 2010. – С. 136–143.

Стаття надійшла до редакції 04.07.2011.

Після доробки 02.11.2011.

Ризун Н. О., Тараненко Ю. К.
МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗ

Предложена мобильная система компьютерного тестирования, которая позволяет интенсифицировать учебный процесс благодаря обеспечению мобильности, экономичности и конфиденциальности тестового контроля путем использования технологии кратковременного сеанса беспроводной связи с сервером, размещенным в Internet-сети и хранящим базу тестовых заданий и средства идентификации результатов тестирования.

Ключевые слова: мобильная система, учебный процесс, тестовый сеанс, беспроводная связь.

Rizun N. O., Taranenko Y. K.

MOBILE SYSTEM OF COMPUTER TESTING AS THE INSTRUMENT OF INTENSIFICATION OF STUDY PROCESS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Mobile system of computer testing, which allows intensifying study process because of ensuring of mobility, economy and

confidentiality of testing control by means of using the technology of a short-term session of wireless connection with the server, which is located in the Internet and contains the base of test tasks and means of testing results identification, is suggested.

Key words: mobile system, study process, testing session, wireless connection.

УДК 658.512.011:681.326:519.713

Хаханов В. И.¹, Чумаченко С. В.², Литвинова Е. И.³, Гузь О. А.⁴

¹ Д-р техн. наук, профессор, декан Харьковского национального университета радиозлектроники

² Д-р техн. наук, профессор Харьковского национального университета радиозлектроники

³ Канд. техн. наук, доцент Харьковского национального университета радиозлектроники

⁴ Канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой Донецкой академии автомобильного транспорта

ИНФРАСТРУКТУРА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СИСТЕМ

Представлены инфраструктура и технологии диагностирования, в рамках которого созданы транзакционная граф-модель модель и метод диагностирования цифровых систем на кристаллах, ориентированные на существенное уменьшение времени поиска дефектов и затрат памяти для хранения матрицы диагностирования путем формирования тернарных отношений в форме тест, монитор, функциональный компонент. Решены задачи: создания модели цифровой системы в виде транзакционного графа и мультидерева таблиц поиска неисправностей, а также тернарные матрицы активизации функциональных компонентов на тестах относительно выбранного множества мониторов; разработки метода анализа матрицы активизации для поиска дефектов с заданной глубиной и синтеза логических функций для последующей реализации встроенного аппаратного диагностирования дефектов.

Ключевые слова: инфраструктура, анализ информации, диагностирование, граф-модель, цифровая система на кристалле.

1. ТАВ-МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЕФЕКТНЫХ КОМПОНЕНТОВ В SOC

Мотивация определяется: 1) созданием простых и доступных в применении моделей, методов и движков для диагностирования многоуровневых программно-аппаратных систем; 2) рыночной привлекательностью матричного или табличного метода поиска дефектов в компонентах (программных и аппаратных) цифровых систем на кристаллах, как самого технологичного, который ориентирован на параллельную обработку данных, что дает возможность существенно уменьшить время диагностического обслуживания при возникновении неисправностей или нефункциональных режимов.

Цель исследования – создание модели, метода и их аппаратной реализации, ориентированных на существенное уменьшения времени тестирования и затрат памяти для хранения матрицы диагностирования путем формирования тернарных отношений (тест – монитор – функциональный компонент) внутри одной таблицы или ТАВ: Tests – Assertions – Blocks.

Задачи: 1) Разработка модели цифровой системы в виде транзакционного графа, а также многоуровневой модели и движка диагностирования программно-аппаратных модулей на основе использования матрицы активизации функциональных компонентов на тестах относительно выбранного множества мониторов [1–6].

2) Разработка метода анализа матрицы активизации для поиска дефектов с заданной глубиной [4–7]. 3) Синтез логических функций для встроенного диагностирования дефектов [8–11].

Модель тестирования цифровой системы представлена в виде следующего преобразования начального уравнения диагноза, определенного хог-отношением параметров <тест – функциональность – неисправные блоки >:

$$T \oplus F \oplus B = 0 \rightarrow B = T \oplus F \rightarrow B = \\ = \{T \times A\} \oplus F \rightarrow B = \{T \times A\} \oplus \{F \times m\},$$

которое оформлено в тернарное матричное отношение компонентов:

$$M = \{\{T \times A\} \times \{B\}\} \leftarrow M_{ij} = (T \times A)_i \oplus B_j.$$

Здесь координата матрицы (таблицы) равна 1, если пара тест-монитор $(T \times A)_i$ проверяет (активизирует) дефекты функционального блока $B_j \in B$.

Модель цифровой системы представлена в виде транзакционного графа

$$G = \langle B, A \rangle, B = \{B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n\}, A = \{A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_m\},$$

где определены множество дуг – функциональных блоков и вершин – мониторов для наблюдения совокупности переменных цифровой системы. Для целей диагнос-

тирования на графовую модель накладывается совокупность тестовых сегментов $T = \{T_1, T_2, \dots, T_r, \dots, T_k\}$, которая активизирует транзакционные пути в графе. В общем случае модель тестирования представлена декартовым произведением $M = \langle B \times A \times T \rangle$, которая имеет размерность $Q = n \times m \times k$. Чтобы уменьшить объем диагностической информации предлагается каждому тесту поставить в соответствие монитор, который отвечает за визуализацию пути активизации функциональных блоков, что дает возможность уменьшить размерность модели (матрицы) до $Q = n \times k$ при сохранении всех возможностей отношения триады $M = \langle B \times A \times T \rangle$. Для пары тест-монитор возможны не только взаимно-однозначные соответствия $\langle T_i \rightarrow A_j \rangle$, но и функциональные $\langle \{T_i, T_r\} \rightarrow A_j \rangle$, а также инъективные $\langle T_i \rightarrow \{A_j, A_s\} \rangle$. Такое многообразие соответствий дает возможность дублировать один тестовый сегмент для разных мониторов, равно как и нагружать несколько тестов на один и тот же монитор. При этом ячейка матрицы $M_{ij} = \{0, 1\}$ всегда сохраняет свою размерность, равную одному биту.

Аналитическая обобщенная модель матричного диагностирования с использованием механизма мониторов ориентирована на достижение заданной глубины поиска дефектов и представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} M &= f(G, L, T, B, A, t), \\ B &= \{B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_m\}; \\ L &= \{L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_n\}; \\ A(t) &= \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_k\}; \\ A &\subseteq L; \quad G = L \times B; \quad k \leq n; \\ T &= \{T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_p\}. \end{aligned}$$

Здесь B_i – группа операторов кода, нагруженная на вершину L_i (переменная, регистр, счетчик, память) и формирующая ее состояние; G – функциональность, представленная транзакционным графом $G = (L, A) \times B$ в виде декартова произведения множества вершин и дуг; A – совокупность мониторов, как подмножество вершин транзакционного графа $A \subseteq L$. Метод поиска неисправностей функциональных блоков (ФБ) использует предварительно построенную таблицу (матрицу) активизации ТАФБ $M = [M_{ij}]$, где строка есть отношение между тестовым сегментом и подмножеством активизированных блоков

$$T_i \rightarrow A_j \approx (M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{ij}, \dots, M_{in}), M_{ij} = \{0, 1\},$$

наблюдаемых на мониторе A_j . Столбец таблицы формирует отношение между функциональным блоком, тестовыми сегментами и мониторами $M_j = B_j \approx f(T, A)$. В механизм мониторов может быть введен параметр модельного времени, который частично усложняет матри-

цу активизации, указывая временной или модельный такт, на котором выполняется мониторинг состояния вершины или функционального блока на тест-сегменте $A_j = f(T_i, B_j, t_j)$.

Для диагностирования неисправностей на стадии моделирования определяется обобщенная реакция (вектор-столбец) $m = \{m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_p\}$ механизма мониторов A на тест-сегменты T , путем формирования $m_i = f(T_i, A_i)$. Поиск неисправного ФБ основан на определении хог-операции между вектором состояния ассерций и столбцов таблицы ФН $m \oplus (M_1 \vee M_2 \vee \dots \vee M_j \vee \dots \vee M_n)$. Выбор решения определяется методом хог-анализа столбцов, путем выбора совокупности векторов B_j с минимальным числом единичных координат

$$B = \min_{j=1, n} [B_j = \sum_{i=1}^p (B_{ij} \oplus m_i)],$$

формирующих функциональные блоки с неисправностями, проверяемыми на тестовых сегментах. В дополнение к модели матричного диагностирования необходимо описать следующие важные свойства матрицы:

- 1) $M_i = (T_i - A_j)$;
- 2) $\bigvee_{i=1}^m M_{ij} \rightarrow \forall M_j = 1$;
- 3) $M_{ij} \bigoplus_{j=1}^n M_{rj} \neq M_{ij}$;
- 4) $M_{ij} \bigoplus_{i=1}^k M_{ir} \neq M_{ij}$;
- 5) $\log_2 n \leq k \leftrightarrow \log_2 |B| \leq |T|$;
- 6) $B_j = f(T, A) \rightarrow B \oplus T \oplus A = 0$.

Свойства означают: 1) Каждая строка матрицы есть соответствие или подмножество декартова произведения (тест-монитор). 2) Дизъюнкция всех строк матрицы дает вектор, равный единицам по всем координатам. 3) Все строки матрицы различны, что исключает тестовую избыточность. 4) Все столбцы матрицы различны, что исключает существование эквивалентных неисправностей. 5) Число строк матрицы должно быть больше двоичного логарифма от числа столбцов, что определяет потенциальную диагностируемость всех блоков. 6) Функция диагностирования блока зависит от совокупного теста и мониторов, которые должны быть минимизированы без нарушения диагнозопригодности.

2. ДИАГНОЗОПРИГОДНОСТЬ ПРОЕКТА

Что касается качества модели диагностирования функциональных нарушений, то она показывает эффективность использования пары (тест, ассерции) для заданной глубины диагностирования. Оценка качества модели

функціонально зависит от длины теста $|T|$, числа ассерций наблюдения $|A|$, количества распознаваемых блоков с функциональными нарушениями N_d на общем числе программных блоков N :

$$Q = E \times D = \frac{\lceil \log_2 N \rceil}{|T| \times |A|} \times \frac{N_d}{N}.$$

Эффективность диагностирования есть отношение минимального числа двоичных разрядов, необходимых для идентификации (распознавания) всех блоков к реальному количеству разрядов кода, представленному произведением длины теста на число ассерций в каждом из них. Если первая дробь оценки равна 1 и все блоки с ФН распознаются ($N_d = N$), то тест и ассерции оптимальны, что доставляет критерию качества модели диагностирования значения, равного 1. Далее рассмотрен пример матрицы ABC-графа, который представлен на рис. 1 и имеет 14 функциональных блоков – дуг, а также 9 мониторов – вершин.

Для такого графа существует 2 решения при создании модели диагностирования дефектов, с одной и тремя ассерциями или мониторами:

$$Q_1 = \frac{\lceil \log_2 14 \rceil}{|6| \times |1|} \times \frac{10}{14} = 0,5;$$

$$Q_2 = \frac{\lceil \log_2 14 \rceil}{|6| \times |3|} \times \frac{14}{14} = 0,2.$$

Несмотря на то, что качество модели лучше в первом варианте, за счет меньшего объема таблицы активизации, вторая модель – более предпочтительна, поскольку она имеет максимальную глубину диагностирования, когда все 14 блоков распознаются за счет добавления двух ассерций. Оценка позволяет определить минимальные затраты по длине теста и числу ассерций для создания модели с максимальной глубиной диагностирования.

Интерес представляет оценивание качества структуры кода проекта с позиции диагностируемости (diagnosability) блоков программного продукта. Цель анализа – определить количественную оценку структуры графа и места (вершины) для установки ассерционных мониторов, создающих максимальную глубину диагностирования функциональных нарушений про-

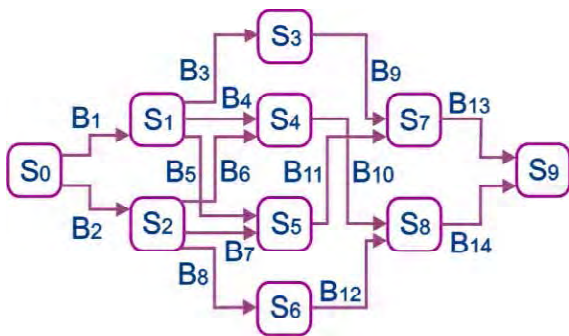


Рис. 1. Пример ABC-графа транзакций

граммных блоков. Здесь важна не управляемость и наблюдаемость, как в тестопригодности (testability), а различимость программных блоков с функциональными нарушениями, в пределе представляющая ноль блоков с эквивалентными (неразличимыми) нарушениями. Такая оценка может быть полезной для сравнения графов, реализующих одинаковую функциональность. Здесь необходимо оценивать структуру графа с позиции потенциально заложенной в нем глубины поиска функциональных нарушений программного продукта. Возможным вариантом может быть диагнозпригодность ABC-графа как функция, зависящая от таких смежных дуг при каждой вершине (формирующих число N_n), одна из которых – входящая, другая – исходящая. Такие дуги составляют пути без схождений и разветвлений (N – общее количество дуг в графе):

$$D = \frac{N - N_n}{N}.$$

Каждая вершина, объединяющая 2 дуги, входящие в число N_n , называется транзитной. Оценка N_n есть число неразличимых функциональных нарушений программных блоков. Места потенциальной установки мониторов для различения ФН – транзитные вершины. С учетом приведенной оценки диагнозпригодности D качество модели диагностирования программного продукта принимает вид:

$$Q = E \times D = \frac{\lceil \log_2 N \rceil}{|T| \times |A|} \times \frac{N - N_n}{N}.$$

Правила синтеза диагнозпригодных программных продуктов: 1) Тест (testbench) должен создавать минимальное число одномерных путей активизации, покрывающих все вершины и дуги ABC-графа. 2) Базовое число мониторов-ассерций равно количеству конечных вершин графа, не имеющих исходящих дуг. 3) В каждой вершине, имеющей одну входную и одну выходную дугу, может быть размещен дополнительный монитор. 4) Параллельно независимые блоки кода имеют n мониторов и один тест или один объединенный монитор и n тестов. 5) Последовательно соединенные блоки имеют 1 тест активизации последовательного пути и $n-1$ монитор или n тестов и n мониторов. 6) Вершины графа, имеющие различное число входных и выходных дуг, создают условия для диагностируемости данного участка за счет одномерных тестов активизации без установки дополнительных мониторов. 7) Совокупность тестовых сегментов (testbench) должна составлять 100 % покрытие функциональных режимов (functional coverage), заданных вершинами ABC-графа. 8) Функция диагнозпригодности прямо пропорциональна длине теста, числу ассерций и обратно пропорциональна двоичному логарифму от числа программных блоков:

$$D = \frac{N - N_n}{N} = f(T, A, N) = \frac{|T| \times |A|}{\lceil \log_2 N \rceil}.$$

Диагнозопригодность как функция, зависящая от структуры графа (программного продукта), теста и ассерционных мониторов всегда может быть приведена к единичному значению. Для этого существует два альтернативных пути. Первый – увеличение тестовых сегментов, активизирующих новые пути, для различения эквивалентных неисправностей (ФН) без наращивания ассерций, если структура графа программных блоков имеет такой потенциал связей. Второй – размещение дополнительных ассерционных мониторов в транзитных вершинах графа. Возможен и третий, гибридный вариант, основанный на совместном применении двух перечисленных выше путей. Отношение трех компонентов (число программных блоков, мощность механизма ассерций и длина теста) при единичном значении качества модели диагностирования и диагнозопригодности, формирует плоскость оптимальных

$$D = 1 \rightarrow \frac{|T| \times |A|}{\log_2 N} = 1 \rightarrow \log_2 N = |T| \times |A|.$$

Она может быть полезной для выбора квазиоптимального варианта альтернативного пути достижения полной различимости на паре $|T| \times |A|$ функциональных нарушений программных блоков.

3. МУЛЬТИ-УРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД (ДВИЖОК) ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ

Представлена мультидеревом B , где каждая вершина есть трехмерная таблица активизации функциональных модулей, а дуги, исходящие из нее, есть переходы на нижний уровень детализации при диагностировании, когда замена рассматриваемого неисправного функционального блока слишком дорога:

$$B = [B_{ij}^{rs}], \text{ card}B = \sum_{r=1}^n \sum_{s=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{k_{rs}} B_{ij}^{rs},$$

n – число уровней мультидеревя диагностирования; m_r – количество функциональных блоков или компонентов на уровне r ; k_{rs} – число компонентов в таблице B^{rs} ; $B_{ij}^{rs} = \{0,1\}$ – компонент таблицы активизации, определенный сигналами проверки (непроверки) функционального модуля тест-сегментом T_{i-A_i} относительно наблюдаемого монитора A_i . Каждая вершина-таблица имеет число исходящих вниз дуг, равное количеству функциональных блоков, диагностируемых (представленных) в таблице активизации. Структура мультидеревя, соответствующая модели многоуровневого диагностирования, представлена на рис. 2.

Процесс модель или метод поиска дефектов по мультидереву диагностирования сводится к созданию движка, рис. 3, для спуска по одной из ветвей дерева на такую глубину, которая удовлетворяет пользователя по степени детализации:

$$B_j^{rs} \oplus A^{rs} = \begin{cases} 0 \rightarrow \{B_j^{r+1,s}, R\}; \\ 1 \rightarrow \{B_{j+1}^{rs}, T\}. \end{cases}$$

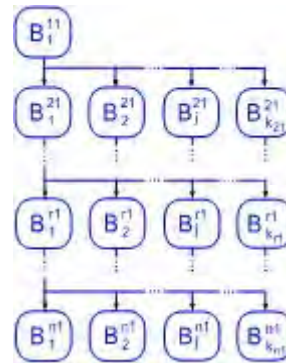


Рис. 2. Фрагмент мультидеревя диагностирования цифровых систем

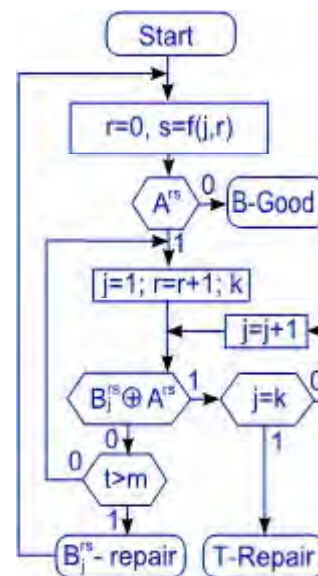


Рис. 3. Движок обхода мультидеревя диагностирования

Здесь выполняется векторная хог-операция между столбцами матрицы и вектором экспериментальной проверки A^{rs} , который определяется реакцией функциональности, снятой с мониторов (ассерции или разряды регистра граничного сканирования) при подаче всех тест-сегментов. Если хотя бы одна координата полученной векторной хог-суммы равна нулю $B_j^{rs} \oplus A^{rs} = 0$, то выполняется одно из действий: переход к матрице активизации нижнего уровня $B_j^{r+1,s}$ или восстановление работоспособности функционального блока B_j^{rs} . При этом анализируется, что важнее: 1) время – тогда выполняется ремонт рассматриваемого блока с неисправностью; 2) деньги – тогда осуществляется переход вниз, для уточнения места дефекта, поскольку замена более мелкого блока существенно уменьшает стоимость ремонта. Если хотя бы одна координата полученного вектора хог-суммы равна единице $B_j^{rs} \oplus A^{rs} = 1$, то выполняется переход к анализу следующего столбца матрицы. При нулевых значениях всех координат вектора (ассерционных) мониторов $A^{rs} = 0$, фиксируется исправное состояние все-

го изделия. Если в рассматриваемой таблице зафиксированы все векторные хог-суммы, не равные нулю $B_j^{rs} \oplus A^{rs} = 1$, то коррекции подлежит тест, построенный для проверки данной функциональности.

Таким образом, представленная на рисунке граф-схема дает возможность эффективно осуществлять сервисное обслуживание сколь угодно сложной технической системы. Преимущества такого движка, инвариантного к уровням иерархии, заключаются в простоте подготовки и представления диагностической информации в виде минимизированной таблицы активизации функциональных блоков на тестовых сегментах.

4. ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Для пояснения работоспособности модели и метода далее рассмотрены функциональности трех модулей, входящих в состав цифрового фильтра Добеши [11]. Первым является компонент Row_buffer, для которого создан транзакционный граф на основе RTL-модели, рис. 4. Вершины представлены состояниями переменных и мониторов, отвечающих за входящие в вершину транзакции или дуги, которым соответствуют функциональные блоки.

На основе графа, полученного в процессе моделирования, строится таблица активизации функциональных блоков, строки которой представляют пути активизации блоков к заказанной вершине-монитору. Таблица представляет собой покрытие строками-путями всех столбцов или функциональных блоков. При этом в ней не должны быть хотя бы двух одинаковых столбцов. Отличие таблицы заключается в формировании пары <тест – наблюдаемая вершина>, что дает возможность существенно сократить размерность таблицы при 100 % распознавании всех дефектных блоков. Здесь самое главное отличие предложенной модели заключается в возможности описания с помощью таблицы следующих отношений: различные тесты – одна вершина; один тест – различные вершины:

A_{ij}	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9	T_{10}	T_{11}	T_{12}	T_{13}
$t_1 \rightarrow D_3$	1	.	.	.	.	.
$t_2 \rightarrow D_1$	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
$t_3 \rightarrow D_1$.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
$t_4 \rightarrow D_1$.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1
$t_5 \rightarrow D_1$	1	.	.	.	.	.	1	.	1
$t_6 \rightarrow D_1$	1	.	.	.	1
$t_7 \rightarrow D_2$.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.
$t_8 \rightarrow D_2$.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	1	.
$t_9 \rightarrow D_2$	1	.	.	.	.	.	.	1	.
$t_{10} \rightarrow D_2$	1	.	.	.	.	.	1	.
$t_{11} \rightarrow D_2$	1	.	1	.

С помощью матрицы активизации функциональных блоков (транзакционного графа) и хог-метода поиска дефектов достаточно просто синтезировать логические функции для формирования комбинационной схемы, определяющей в процессе и по результатам моделиро-

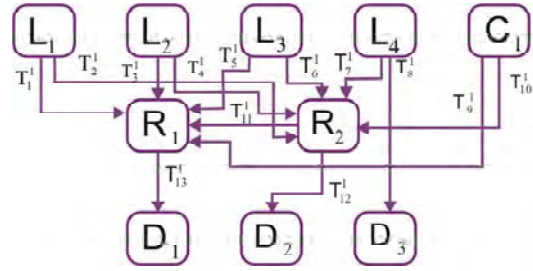


Рис. 4. Компонент Row_buffer транзакционного графа

вания номер функционального блока, который имеет семантические ошибки:

$$D_3 = T_8^1;$$

$$D_1 = T_{13}^1 T_1^1 \vee T_{13}^1 T_3^1 \vee T_{13}^1 T_5^1 \vee T_{13}^1 T_{11}^1 \vee T_{13}^1 T_9^1;$$

$$D_2 = T_{12}^1 T_2^1 \vee T_{12}^1 T_4^1 \vee T_{12}^1 T_6^1 \vee T_{12}^1 T_7^1 \vee T_{12}^1 T_{10}^1.$$

Такое свойство становится возможным благодаря отсутствию эквивалентных неисправностей или одинаковых столбцов в матрице активизации. Поэтому фиксация фактического состояния всех мониторов в вершинах D_1, D_2, D_3 на 11 тестовых наборах дает возможность однозначно идентифицировать некорректный функциональный модуль путем выполнения хог-операции между вектором ассерций и столбцами матрицы активизации. Нулевое значение всех координат результата хог-операции определяет номер столбца, соответствующего неисправному модулю. Имплементация модели и метода в логическую функцию дает возможность определять неисправный блок еще до завершения диагностического эксперимента, если это возможно. Это означает существенную экономию времени диагностирования отдельных видов дефектов. Например, тест-монитор $t_1 \rightarrow D_3$ дает возможность идентифицировать уже на первом тесте неисправность блока B_8 .

В качестве второго тестового примера для практического использования разработанной модели активизации и хог-метода поиска дефектов далее предлагается синтез матрицы диагностирования для модуля дискретного косинусного преобразования из Xilinx библиотеки, фрагмент которого представлен листингом 1.

Листинг 1. Фрагмент функционального покрытия

```

c0: coverpoint xin
{
  bins minus_big={ [128:235] };
  bins minus_sm={ [236:255] };
  bins plus_big={ [21:127] };
  bins plus_sm={ [1:20] };
  bins zero={ 0 };
}
c1: coverpoint dct_2d
{
  bins minus_big={ [128:235] };
  bins minus_sm={ [236:255] };
  bins plus_big={ [21:127] };
  bins plus_sm={ [1:20] };
}
    
```

```
bins zero={0};
bins zero2=(0=>0);
}
endgroup
```

Для всех 12 модулей фильтра разработаны транзакционные графы, таблицы активизации и логические функции для тестирования и поиска дефектов дискретного косинусного преобразования. Граф с матрицей активизации и логической функцией (рис. 5), также принадлежащая фильтру, представлены ниже.

Данному графу ставится в соответствие следующая матрица диагностирования:

A _{ij}	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	T ₁₃	T ₁₄
P ₁ → F ₇	1	.	1	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.
P ₂ → F ₈	.	1	.	1	1	.	.	1	.	.	.	.	.	.
P ₃ → F ₉	1	.	1	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.
P ₄ → F ₁₀	.	1	.	1	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.
P ₅ → F ₁₂	1	.	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1	.
P ₆ → F ₁₃	.	1	.	1	.	1	.	.	.	1	.	.	.	1
P ₁ → F ₂	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P ₂ → F ₃	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Система функций диагностирования:

$$F_7 = T_1^1 T_3^1 T_5^1 T_7^1; F_8 = T_2^1 T_4^1 T_5^1 T_8^1; F_9 = T_{11}^1 T_6^1 T_1^1 T_3^1;$$

$$F_{10} = T_4^1 T_5^1 T_6^1 T_{12}^1; F_{12} = T_1^1 T_3^1 T_5^1 T_9^1 T_{13}^1;$$

$$F_{13} = T_2^1 T_4^1 T_6^1 T_{10}^1 T_{14}^1; F_2 = T_1^1; F_3 = T_2^1;$$

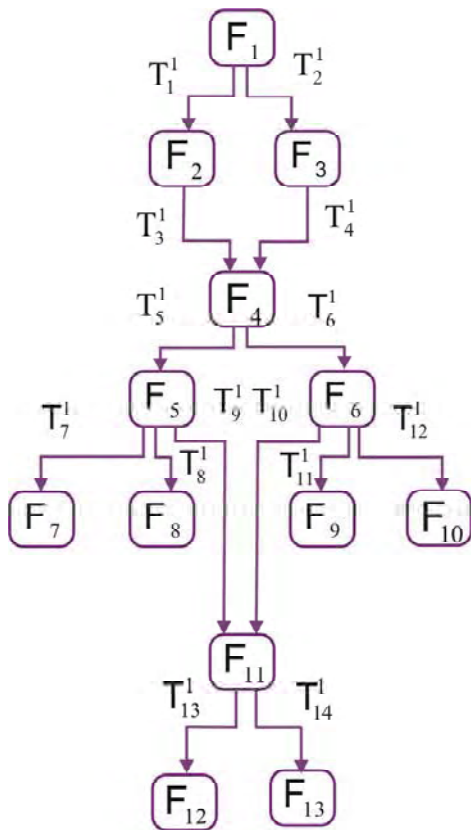


Рис. 5. Транзакционный граф main-RTL

Фрагмент механизма мониторов представлен листингом 2.

Листинг 2. Фрагмент кода механизма мониторов

```
sequence first( reg[7:0] a, reg[7:0]b);
reg[7:0] d;
(!RST,d=a)
##7 (b==d);
endsequence
property f(a,b);
@(posedge CLK)
// disable iff(RST||$isunknown(a)) first(a,b);
!RST | => first(a,b);
endproperty
odin:assert property (f(xin,xa7_in))
// $display("Very good");
else $error("The end, xin =%b,xa7_in=%b",
$past(xin, 7),xa7_in);

//add_sub1a <= xa7_reg + xa0_reg;//
```

В результате тестирования дискретного косинусного преобразования в среде Riviera, Aldec были найдены неточности в семи строках HDL-модели:

Последующая коррекция кода привела к листингу 3.

Листинг 3. Исправленный фрагмент кода

```
add_sub1a <= ({xa7_reg[8],xa7_reg} +
+{xa0_reg[8],xa0_reg});
add_sub2a <= ({xa6_reg[8],xa6_reg} +
+{xa1_reg[8],xa1_reg});
add_sub3a <= ({xa5_reg[8],xa5_reg} +
+{xa2_reg[8],xa2_reg});
add_sub4a <= ({xa4_reg[8],xa4_reg} +
+{xa3_reg[8],xa3_reg});
end
else if (toggleA == 1'b0)
begin
add_sub1a <= ({xa7_reg[8],xa7_reg} -
-{xa0_reg[8],xa0_reg});
add_sub2a <= ({xa6_reg[8],xa6_reg} -
-{xa1_reg[8],xa1_reg});
add_sub3a <= ({xa5_reg[8],xa5_reg} -
-{xa2_reg[8],xa2_reg});
add_sub4a <= ({xa4_reg[8],xa4_reg} -
-{xa3_reg[8],xa3_reg});
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Представлены инфраструктура и технологии анализа киберпространства, в рамках которого созданы транзакционная граф-модель и метод диагностирования цифровых систем на кристаллах, ориентированные на существенное уменьшение времени поиска дефектов и затрат памяти для хранения матрицы диагностирования путем формирования тернарных отношений в форме тест, монитор, функциональный компонент.

2. Предложена усовершенствованная процесс-модель определения функциональных нарушений в программном или аппаратном изделии, которая отличается использованием хог-операции, что дает возможность повысить быстродействие диагностирования одиночных или крат-

ных дефектов (функциональных нарушений) на основе параллельного анализа таблицы неисправностей, стандарта граничного сканирования IEEE 1500 и векторных операций and, or, xor.

3. Представлена модель диагностирования функциональностей цифровой системы на кристалле в форме мультидерева и метод обхода вершин дерева, имплементированный в движок поиска дефектов с заданной глубиной, которая существенно повышает быстродействие сервисного обслуживания программных и аппаратных компонентов промышленных изделий.

4. Выполнена тестовая верификация метода диагностирования на трех реальных примерах, представленных функциональностями фильтра косинусного преобразования цифровой системы на кристалле, которая показала состоятельность полученных результатов для минимизации времени поиска дефектов и памяти для хранения диагностической информации, а также повышения глубины диагностирования цифровых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы технической диагностики / Под. ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия, 1976. – 460 с.
2. Основы технической диагностики (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / Под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия, 1981. – 320 с.
3. Инфраструктура мозгоподобных вычислительных процессов / [М. Ф. Бондаренко, О. А. Гузь, В. И. Хаханов, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко]. – Х. : Новое Слово, 2010. – 160 с.
4. Проектирование и верификация цифровых систем на кристаллах / В. И. Хаханов, И. В. Хаханова, Е. И. Литвинова, О. А. Гузь. – Х. : Новое слово, 2010. – 528 с.
5. Семенец, В. В. Проектирование цифровых систем с использованием языка VHDL / В. В. Семенец, И. В. Хаханова, В. И. Хаханов. – Х. : ХНУРЭ. – 2003. – 492 с.
6. Хаханов, В. И. VHDL+Verilog = синтез за минуты / В. И. Хаханов, И. В. Хаханова. – Х. : ХНУРЭ. – 2006. – 264 с.
7. IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan : Architecture IEEE Std 1149.7. – 2009. – 985 p.
8. Da, Silva F. The Core Test Wrapper Handbook. Rationale and Application of IEEE Std. 1500™ / F. Da Silva, T. McLaurin, T. Waayers. – Springer. – 2006. – XXIX. – 276 p.
9. Marinissen, E. J. Guest Editors' Introduction : The Status of IEEE Std 1500 / E. J. Marinissen, Yervant Zorian // IEEE Design & Test of Computers. – 2009. – No 26(1). – P. 6–7.
10. Benso, A. IEEE Standard 1500 Compliance Verification for Embedded Cores / A. Benso, S. Di Carlo, P. Prinetto, Y. Zorian // IEEE Trans. VLSI. – 2008. – No 16(4). – P. 397–407.
11. Хаханов, В. И. Логический ассоциативный вычислитель / В. И. Хаханов, Е. И. Литвинова, С. В. Чумаченко, О. А. Гузь // Электронное моделирование. – 2011. – № 1. – С. 73–83.

Стаття надійшла до редакції 19.07.2011.

Хаханов В. І., Чумаченко С. В., Литвинова С. І., Гузь О. А. ІНФРАСТРУКТУРА ДІАГНОСТУВАННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ СИСТЕМ

Запропоновано інфраструктуру й технології аналізу кіберпростору, в рамках якого створено транзакційну граф-модель та метод діагностування цифрових систем на кристалах, орієнтовані на істотне зменшення часу пошуку дефектів і витрат пам'яті для зберігання матриці діагностування шляхом формування тернарних відносин у формі тест, монітор, функціональний компонент.

Ключові слова: інфраструктура, аналіз інформації, діагностування, граф-модель, цифрова система на кристалі.

Hahanov V. I., Chumachenko S. V., Litvinova E. I., Guz O. A. DIAGNOSIS INFRASTRUCTURE FOR SOFTWARE-HARDWARE SYSTEMS

An infrastructure and technologies for analyzing cyberspace are proposed. A transactional graph model and method for diagnosing digital systems-on-chips, focused on considerable reducing the time of fault detection and memory for storing the diagnosis matrix by forming ternary relations in the form of test, monitor, functional component, are created.

Key words: infrastructure, information analysis, diagnosis, graph model, digital system-on-chip.

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

THEORY AND METHODS CONTROL OF AUTOMATIC CONTROL

УДК 62-503.4

Александрова Т. Е.

Канд. техн. наук, доцент Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ РОБАСТНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается проблема синтеза оптимального по точности стабилизатора подвижного объекта с учетом требования робастности замкнутой системы стабилизации к изменениям конструктивного параметра объекта.

Ключевые слова: робастные системы, функции чувствительности, интегральный квадратичный функционал, весовые коэффициенты.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В процессе эксплуатации любой технической системы значения ее конструктивных параметров отличаются от номинальных. При этом в той или иной степени изменяются динамические характеристики системы. Динамическую систему будем называть робастной, если изменения ее параметров не приводят к существенному изменению динамических характеристик системы. Для синтеза робастных динамических систем целесообразно использовать аппарат теории чувствительности [1, 2]. Основные задачи, рассматриваемые в теории чувствительности, состоят в анализе влияния малых отклонений конструктивных параметров на динамическую систему, а также в синтезе динамической системы, малочувствительной к изменению этих параметров.

Пусть дифференциальное уравнение возмущенного движения замкнутой линейной системы стабилизации «подвижный объект – стабилизатор» в общем случае записывается

$$\dot{X}(t) = A(\alpha, \beta)X(t), \quad (1)$$

где $\dot{X}(t)$ – n -мерный вектор состояния объекта; $\alpha \in G_\alpha$ – m -мерный вектор параметров стабилизатора; $\beta \in G_\beta$ –

варьируемый параметр, значения которого изменяются в процессе эксплуатации объекта. Требуется отыскать оптимальный вектор $\alpha^* \in G_\alpha$, обеспечивающий максимальную точность стабилизации системы (1), в смысле минимума интегрального квадратичного функционала

$$J(\alpha, \beta_0) = \int_0^T \langle X(t), QX(t) \rangle dt, \quad (2)$$

при непрерывных вариациях конструктивного параметра $\beta \in G_\beta$ причем через β_0 обозначено номинальное значение параметра β .

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Введем в рассмотрение вектор чувствительности [3, 4]

$$S(t) = \frac{\partial X(t)}{\partial \beta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_1(t)}{\partial \beta} \\ \frac{\partial x_2(t)}{\partial \beta} \\ \vdots \\ \frac{\partial x_n(t)}{\partial \beta} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

удовлетворяющий векторно-матричному дифференциальному уравнению

$$\begin{aligned} \dot{S}(t) &= \frac{\partial \dot{X}(t)}{\partial \beta} = \frac{\partial}{\partial \beta} [A(\alpha, \beta)X(t)] = \\ &= \left[\frac{\partial}{\partial \beta} A(\alpha, \beta) \right]_{\beta=\beta_0} X(t) + A(\alpha, \beta) \frac{\partial X(t)}{\partial \beta} \end{aligned} \quad (4)$$

с начальным условием $S(0) = 0$.

С учетом (3) уравнение (4) принимает вид

$$\dot{S}(t) = \left[\frac{\partial}{\partial \beta} A(\alpha, \beta) \right]_{\beta=\beta_0} X(t) + A(\alpha, \beta) S(t). \quad (5)$$

Запишем функцию чувствительности интегрального квадратичного функционала (2)

$$\begin{aligned} s_{n+1}(\alpha, \beta) &= \frac{\partial J(\alpha, \beta_0)}{\partial \beta} = \left\langle \frac{\partial}{\partial \beta} \left[\int_0^T \langle \dot{X}(t), QX(t) \rangle, \frac{\partial X(t)}{\partial \beta} \right], \right. \\ &= \left. \int_0^T \langle QX(t), S(t) \rangle dt \right\rangle \end{aligned} \quad (6)$$

Функция чувствительности (6) является количественной оценкой робастности замкнутой системы (1) к изменению конструктивного параметра β . Чем меньше значение модуля функции чувствительности (6), вычисленной на решениях уравнений (1) и (5), тем выше показатель робастности замкнутой системы стабилизации.

К векторным дифференциальным уравнениям (1) и (5) добавим еще два скалярных уравнения

$$x_{n+1}(t) = \langle X(t), QX(t) \rangle; \quad (7)$$

$$s_{n+1}(t) = \langle S(t), QX(t) \rangle \quad (8)$$

с нулевыми начальными условиями. Тогда, сравнивая соотношения (2) и (6) с уравнениями (7) и (8), можно записать

$$J(\alpha, \beta_0) = x_{n+1}(T); \quad s_{n+1}(\alpha, \beta) = s_{n+1}(T).$$

Сформируем аддитивный функционал

$$J(\alpha, \beta_0, \gamma_1, \gamma_2) = \gamma_1^2 x_{n+1}(T) + \gamma_2^2 |s_{n+1}(T)|, \quad (9)$$

где γ_1 и γ_2 – весовые коэффициенты, подлежащие выбору. Минимизация функционала (9), вычисляемого на решениях системы дифференциальных уравнений (1), (5), (7) и (8), по $\alpha \in G_\alpha$ приводит к отысканию оптимального вектора $\alpha^* \in G_\alpha$, обеспечивающего высокую точность стабилизации замкнутой системы (1) при непрерывных вариациях конструктивного параметра $\beta \in G_\beta$.

Рассмотрим задачу выбора весовых коэффициентов аддитивного функционала (9).

Функционалы (2) и (6) имеют различные размерности, следовательно, различные размерности имеют также весовые коэффициенты γ_1 и γ_2 .

В этой связи введем обозначения

$$\bar{x}_{n+1}(T) = \frac{x_{n+1}(T)}{x_{n+1}^{\max}(T)};$$

$$\bar{s}_{n+1}(T) = \frac{s_{n+1}(T)}{s_{n+1}^{\max}(T)}. \quad (10)$$

$$\bar{\gamma}_1 = \gamma_1 \sqrt{x_{n+1}^{\max}(T)};$$

$$\bar{\gamma}_2 = \gamma_2 \sqrt{s_{n+1}^{\max}(T)}, \quad (11)$$

где $x_{n+1}^{\max}(T)$, $s_{n+1}^{\max}(T)$ – максимально допустимые значения функционалов (2) и (6), вычисленных на множестве G_α . Тогда аддитивный функционал (9) принимает вид

$$J(\alpha, \beta_0, \bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2) = \bar{\gamma}_1^2 \bar{x}_{n+1}(T) + \bar{\gamma}_2^2 |\bar{s}_{n+1}(T)|, \quad (12)$$

причем в соотношении (12) функционалы $\bar{x}_{n+1}(T)$ и $|\bar{s}_{n+1}(T)|$, а также весовые коэффициенты $\bar{\gamma}_1$ и $\bar{\gamma}_2$ безразмерны.

Минимизация функционала (12) при заданных значениях весовых коэффициентов $\bar{\gamma}_1$ и $\bar{\gamma}_2$ не вызывает затруднений. В то же время, попытка минимизации функционала (12) по $\bar{\gamma}_1$ и $\bar{\gamma}_2$ без ограничений на эти коэффициенты приводит к тривиальному решению $\bar{\gamma}_1 = \bar{\gamma}_2 = 0$, при котором функционал (12) обращается в нуль. В этой связи на величины весовых коэффициентов $\bar{\gamma}_1$ и $\bar{\gamma}_2$ наложим ограничение

$$\bar{\gamma}_1 + \bar{\gamma}_2 = 1. \quad (13)$$

Обозначим через $\bar{x}_{n+1}^*(T)$ и $|\bar{s}_{n+1}(T)|^*$ минимальные значения функционалов (10), которые имеют место при минимизации каждого из этих функционалов в отдельности. Тогда при фиксированных значениях весовых коэффициентов $\bar{\gamma}_1$ и $\bar{\gamma}_2$ минимально возможное значение функционала (12) составляет

$$J(\alpha, \beta_0, \bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2) = \bar{\gamma}_1^2 \bar{x}_{n+1}^*(T) + \bar{\gamma}_2^2 |\bar{s}_{n+1}(T)|^*. \quad (14)$$

Отыщем минимум функционала (14) по $\bar{\gamma}_1$ и $\bar{\gamma}_2$ при ограничении (13). Для решения этой задачи на условный экстремум построим функцию Лагранжа

$$F(\alpha, \beta_0, \bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2) = \bar{\gamma}_1^2 \bar{x}_{n+1}^*(T) + \bar{\gamma}_2^2 |\bar{s}_{n+1}(T)|^* +$$

$$+\lambda(1-\bar{\gamma}_1-\bar{\gamma}_2) \quad (15)$$

и запишем условия минимума функции (15):

$$\frac{\partial F(\alpha, \beta_0, \bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2)}{\partial \bar{\gamma}_1} = 2\bar{\gamma}_1 x_{n+1}^*(T) - \lambda = 0; \quad (16)$$

$$\frac{\partial F(\alpha, \beta_0, \bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2)}{\partial \bar{\gamma}_2} = 2\bar{\gamma}_2 |s_{n+1}(T)|^* - \lambda = 0. \quad (17)$$

Из уравнений (16) и (17) получаем

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{\lambda}{2x_{n+1}^*(T)}; \quad \bar{\gamma}_2 = \frac{\lambda}{2|s_{n+1}(T)|^*}. \quad (18)$$

Резюмируя изложенное, можно указать следующий алгоритм решения проблемы параметрического синтеза оптимального робастного стабилизатора подвижного объекта:

– используя векторное дифференциальное уравнение возмущенного движения замкнутой системы стабилизации подвижного объекта (1) и вводя в рассмотрение вектор чувствительности (3), составляем векторное дифференциальное уравнение чувствительности (5);

– к векторным дифференциальным уравнениям (1) и (5) добавляем два скалярных уравнения (7) и (8), совместные решения которых в момент времени $t=T$ позволяют количественно оценить точность стабилизации и степень робастности замкнутой системы стабилизации;

– используя один из известных численных методов оптимизации [5], на решениях системы дифференциальных уравнений (1), (7) с начальными условиями $X(0), x_{n+1}(0) = 0$ находим минимум функции $x_{n+1}(T) = x_{n+1}^*(T)$ по векторному параметру $\alpha \in G_\alpha$;

– на решениях системы дифференциальных уравнений (1), (5), (8) с начальными условиями $X(0), S(0) = 0, s_{n+1}(0) = 0$ находим минимум функции $|s_{n+1}(T)| = |s_{n+1}(T)|^*$ по векторному параметру $\alpha \in G_\alpha$;

– используя формулы (22) и (23) находим значения весовых коэффициентов γ_1 и γ_2 аддитивного функционала (9);

– используя один из численных методов оптимизации, на решениях системы дифференциальных уравнений (1), (5), (7), (8) с начальными условиями $X(0), S(0) = 0, x_{n+1}(0) = 0, s_{n+1}(0) = 0$ находим минимум аддитивного функционала (9) по векторному параметру $\alpha \in G_\alpha$.

Полученное значение $\alpha^* \in G_\alpha$ обеспечивает высокую точность стабилизации подвижного объекта и одновременно робастность замкнутой системы стабилизации к вариациям конструктивного параметра $\beta \in G_\beta$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенвассер, Е. Н. Чувствительность систем автоматического управления / Е. Н. Розенвассер, Р. М. Юсупов. – Л. : Энергия, 1971. – 292.
2. Томович, Р. Общая теория чувствительности / Р. Томович, М. Вукобратович. – М. : Сов. Радио, 1972. – 240 с.
3. Александров, Е. Е. Автоматизированное проектирование динамических систем с помощью функций Ляпунова / Е. Е. Александров, М. В. Бех. – Х. : Основа, 1993. – 113 с.
4. Александров, Е. Е. Синтез робастного стабилизатора для позиционного электропривода / Е. Е. Александров, Т. Е. Александрова, И. В. Костяник // Технічна електродинаміка. Спеціальний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 2010. – Ч. 1. – С. 178–181.
5. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1975. – 534 с.

Стаття надійшла до редакції 24.02.2012.

Александрова Т. Є.

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНИХ РОБАСТНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

Розглядається проблема синтезу оптимального за точністю стабілізатора рухомого об'єкта з урахуванням вимоги робастності замкнутої системи стабілізації до зміни конструктивних параметрів об'єкта.

Ключові слова: робастні системи, функції чутливості, інтегральний квадратичний функціонал, вагові коефіцієнти.

Alexandrova T. Ye.

PARAMETRIC SYNTHESIS OF ROBUST OPTIMAL STABILIZERS OF MOVING OBJECTS

The problem of optimal synthesis for the accuracy of the stabilizer of a moving object with the requirement of robustness of the closed-loop system stability to changes in design parameter of the object.

Key words: robust system, the sensitivity function, the integral quadratic functional, the weights.

СИНТЕЗ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЗІ ЗМІННИМИ ВАГОВИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ

Розглянуто динамічні системи з нечітким регулятором Такагі-Сугено. Запропоновано новий підхід до побудови функціонала при багатокритеріальній оптимізації, який, на відміну від традиційного, передбачає зміну вагових множників інтегральних критеріїв якості в часі.

Ключові слова: нечітка логіка, функція належності, функціонал якості, багатокритеріальна оптимізація.

ВСТУП

На сьогоднішній день для технічних систем традиційно використовують підходи які є досить добре відомі в теорії лінійних систем. Зокрема, метод аналітичного конструювання регуляторів [1], методи максимуму Понтрягіна, та динамічного програмування Белмана [11], [6], а також кореневі методи пошуку. Недоліком цих підходів є те, що вони не враховують зміни умов роботи системи, зміни параметрів об'єкту тощо.

Використання методів нелінійної теорії керування, зокрема feedback лінеаризації [8], не знайшло широкого застосування через складність визначення агрегованих змінних в технічних системах. Так само, на сьогоднішній день недостатньо поширеними є методи геометричної теорії керування [2].

Спроба адаптації керуючих впливів до стану об'єкта та умов протікання технологічного процесу шляхом формування систем з перемиканням та забезпечення ковзних режимів вздовж заданих траєкторій приводить до можливого виникнення автоколивань або до, так званої, надкерваності.

Нечітке прийняття рішень та нечітка логіка також є корисними інструментами для розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації. Shin і Chang [12] запропонували підхід глобального критерію на основі нечіткої логіки для отримання розв'язків для багатокритеріального чіткого або нечіткого синтезу регулятора. Loetamonphong [9] вивчав задачі оптимізації, які мають багатоцільові функції з нечіткими обмеженнями типу рівність. Huang [7] запропонував метод нечіткої багатокритеріальної оптимізації прийняття рішень, що може застосовуватись для оптимізації прийняття рішень при двох або більше цілях надійності системи.

Одним з можливих шляхів оптимізації систем є застосування нечіткого регулятора Такагі-Сугено. Виходом цього регулятора є керуючий вплив характерний для систем керування за повним вектором стану. Таким чином для окремого правила синтез керуючих впливів є можливим на основі класичної теорії лінійних систем.

При цьому використовують модель об'єкта яка є лінеаризованою в даній області з врахуванням всіх накладених

обмежень, які діятимуть в цій області. Зокрема, таку техніку застосовано в роботах Mitsubishi T., Shidama, Y. [10].

Застосовуючи, наприклад, метод динамічного програмування Белмана, можна врахувати різноманітні обмеження, необхідні для нормального функціонування системи, такі як, наприклад, обмеження на швидкодію, що може бути корисним для систем з люфтами, підйнятно-транспортної техніки тощо. При зміні робочої області буде синтезовано інший керуючий вплив, який буде оптимальним для даної точки області станів системи. При цьому для його синтезу можна використовувати модель, отриману шляхом лінеаризації нелінійної системи в даній точці.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

На сьогоднішній день немає загальних підходів до синтезу нечіткого регулятора. В той же час, для системи з нечітким регулятором Такагі-Сугено керуючий вплив для окремого правила може бути синтезований на основі методів синтезу систем керування за повним вектором станів. Синтезуючи такі регулятори, ми приходимо до структури, яку можна представити у вигляді

$$u(t) = \sum_i \lambda_i(\bar{x}) u_i,$$

де $u_i = u(\bar{x}(t), \bar{k})$ – вектор-функція, \bar{k} – вектор коефіцієнтів.

Враховуючи те, що технічні системи можуть працювати в різних точках простору станів, для яких характерні різні обмеження і висуваються різні вимоги до якості керування, традиційно використовують компромісне налаштування і формують керуючий вплив на основі критерію

$$J = \int_0^{\infty} \left(\sum_i \lambda_i F_i^*(\bar{x}(t)) + u^2(t) \right) dt,$$

де λ_i – постійні коефіцієнти, визначені на основі експертних оцінок, а $F_i^*(\bar{x}(t))$ – довільні функціонали якості, що забезпечують бажану поведінку системи.

Для динамічної системи, заданої диференціальним рівнянням

$$\dot{\bar{x}}(t) = f(\bar{x}(t)) + g(\bar{x}(t))\bar{u}(t) + \xi(t),$$

де $\bar{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$, $x_1(t) = x(t)$, $x_2(t) = x'(t)$, $x_3(t) = x''(t), \dots, x_n(t) = x^{(n-1)}(t)$, $\bar{u}(t)$ – вектор керуючих впливів, $\xi(t)$ – зовнішні збурюючі впливи, $f(\bar{x}(t))$ та $g(\bar{x}(t))$ – нелінійні функції, описані в області робочих точок системи, застосувавши підхід, описаний в [3, 4], приходимо до моделі, що формується набором правил виду (див. [13]):

$$R^i : \text{IF } x_1 \in M_1^i \text{ i } x_2 \in M_2^i \text{ i } \dots \text{ i } x_n \in M_n^i \text{ THEN } \dot{\bar{x}}(t) = A_i \bar{x}(t) + B_i \bar{u}(t).$$

У випадку керування за повним вектором стану, синтезованого для окремої підсистеми сімейства лінійних систем, при використанні гравітаційного методу дефазифікації отримаємо загальну модель системи

$$\dot{\bar{x}}(t) = \sum_{i=1}^k v_i(\bar{x}) \left(A_i + B_i \sum_{j=1}^k \mu_j(\bar{x}) K_j \right) \bar{x}(t),$$

$$\text{де } v_i = v_i(\bar{x}) = \frac{\prod_{j=1}^n M_j^i(x_j(t))}{\sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^n M_j^i(x_j(t))}, \quad \mu_i = \mu_i(\bar{x}) = \frac{\prod_{j=1}^n N_j^i(x_j(t))}{\sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^n N_j^i(x_j(t))},$$

$M_j^i(x_j(t))$, $N_j^i(x_j(t))$ – функції належності $x_j(t)$ до відповідної області M_j^i чи N_j^i , $\sum_{i=1}^k v_i = 1$, $\sum_{i=1}^k \mu_i = 1$.

Синтезоване для кожної з підсистем оптимальне керування $u(t) = u^*(t)$ забезпечує мінімізацію окремого функціоналу F_i , сформованого для i -тої точки простору станів. У класичній теорії керування при знаходженні оптимального керування для всієї системи узагальнений функціонал мав би вигляд

$$I = \sum_i \lambda_i F_i,$$

де i – індекс моделі окремої підсистеми, $\lambda_i = \text{const}$ визначається на основі експертних оцінок чи теорії Парето оптимальних рішень.

При застосуванні теорії нечітких множин ми приходимо до функціоналу виду

$$I = \sum_i v_i(t) F_i, \quad \sum_i v_i(t) = 1,$$

де $v_i(t)$ – змінні в часі коефіцієнти, які визначаються видом функцій належності, їх розміщенням, прийнятим методом дефазифікації та сформованою базою правил.

Таким чином, ми не формуємо якусь траєкторію, яка оптимальна для всіх підсистем сімейства, а реалізуємо перехід від однієї оптимальної траєкторії до іншої, визначеної для окремої підсистеми. Такий підхід дає змогу покращити якісні характеристики системи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження цього явища розглянемо двомасову систему, яка описується системою диференціальних рівнянь, знехтувавши, при цьому, електромагнітними явищами в двигуні

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = \frac{1}{T_{M_1}}(u(t) - x_2(t)), \\ \dot{x}_2(t) = \frac{1}{T_C}(x_1(t) - x_3(t)), \\ \dot{x}_3(t) = \frac{1}{T_{M_2}}x_2(t), \\ x_i(0) = 0, i = \overline{1..3}. \end{cases}$$

Оптимальне керування, лінеаризоване в околі окремої робочої точки, системою шукають за допомогою функціоналу

$$J = \int_0^\infty F(\bar{x}(t)) dt = \int_0^\infty (F^*(\bar{x}(t)) + u^2(t)) dt = \int_0^\infty ((x^2(t) + \gamma_1 \dot{x}^2(t) + \gamma_2 \ddot{x}^2(t) + \gamma_3 \dddot{x}^2(t)) + u^2(t)) dt,$$

де $x(t) = x_3(t)$, а $\gamma_i, i = \overline{1..3}$ – коефіцієнти, котрі визначають поведінку системи. У випадку, якщо функціонал якості має вигляд

$$F_1^*(\bar{x}(t)) = x^2(t) + \omega_0^{-6} \dddot{x}(t),$$

то згідно з [5] система налаштована на стандартну форму Батерворта, де ω_0 – значення середньгеометричного кореня. Якщо ж функціонал має вигляд

$$F_2^*(\bar{x}(t)) = x^2(t) + 3\omega_0^{-2} \dot{x}(t) + 3\omega_0^{-4} \ddot{x}(t) + \omega_0^{-6} \dddot{x}(t),$$

то (див. [5]) система налаштована на біном.

Для цих функціоналів якості оптимальне керування матиме вигляд

$$u_1^{opt}(t) = (\omega_0 + 1) T_{M_1} \ddot{x}(t) + (T_C T_{M_1} T_{M_2} \omega_0^3 - (\omega_0 + 1) T_{M_1}) x(t) + \left(\left(\omega + \omega^2 - \frac{1}{T_C T_{M_2}} \right) T_C T_{M_1} - 1 \right) \dot{x}(t)$$

у випадку налаштування на форму Батервортата

$$u_2^{opt}(t) = 3\omega_0 T_{M_1} \ddot{x}(t) + \left(\left(3\omega_0^2 - \frac{1}{T_C T_{M_2}} \right) T_C T_{M_1} - 1 \right) \dot{x}(t) + (T_C T_{M_2} T_{M_1} \omega_0^3 - 3T_{M_1} \omega_0) x(t).$$

(у випадку налаштування на стандартну біноміальну форму).

У випадку компромісного налаштування системи, що складається з двох підсистем

$$J = \int_0^{\infty} (\lambda_1 F_1^*(\bar{x}(t)) + \lambda_2 F_2^*(\bar{x}(t)) + u^2(t)) dt,$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1,$$

де $F_1^*(\bar{x}(t))$ та $F_2^*(\bar{x}(t))$ описано вище, а λ_1 та λ_2 стали вагові коефіцієнти, оптимальне керування матиме вигляд

$$u^{opt}(t) = (1 + \sqrt{1 + 3\lambda_1}) \omega_0 T_{M_1} \ddot{x}(t) + \left(\left((1 + \sqrt{1 + 3\lambda_1}) \omega_0^2 - \frac{1}{T_C T_{M_2}} \right) T_C T_{M_1} - 1 \right) \dot{x}(t) + (T_C T_{M_1} T_{M_2} \omega_0^3 - (1 + \sqrt{1 + 3\lambda_1}) \omega_0 T_{M_1}) x(t).$$

Однак, при такому підході, значення коефіцієнтів λ_i не залежать від стану системи в даний момент часу.

При застосуванні згаданого вище підходу такий критерій формуватиметься у вигляді

$$J = \int_0^{\infty} \left(\sum_i \lambda_i (\bar{x}(t)) F_i^*(\bar{x}(t)) + u^2(t) \right) dt,$$

$$\sum_i \lambda_i (\bar{x}(t)) = 1,$$

що є характерним для систем з фаззи-керуванням з використанням регулятора Такагі-Сугено.

Враховуючи те, що ваговий множник залежить від точки простору станів, в якій зараз перебуває система, приходимо до формування траєкторії системи як набору оптимальних траєкторій для окремих областей.

Кожна з підсистем може формувати різні типи переходів з різними швидкостями. Можливим є формування різних траєкторій переходу до заданої точки простору вихідних сигналів системи, використовуючи регулювання, в якому відбувається перехід між керуючими впливами.

Зокрема, при класичному підході при $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,5$ отримаємо оптимальне управління, яке формуватиме траєкторію «1», яка лежатиме в області, обмеженій «2» та «3». При запропонованому підході траєкторія зміни координати «4» (рис. 1) формуватиметься з участків траєкторій «2» (Батерворт) та «3» (Біном), а перехід з однієї на іншу буде визначатися формуванням функції належності $\lambda_i(x)$.

Як видно з рис. 1, запропонований підхід дозволяє синтезувати оптимальне керування для виходу на заданий рівень функціонування. Але, в наслідок прийнятого

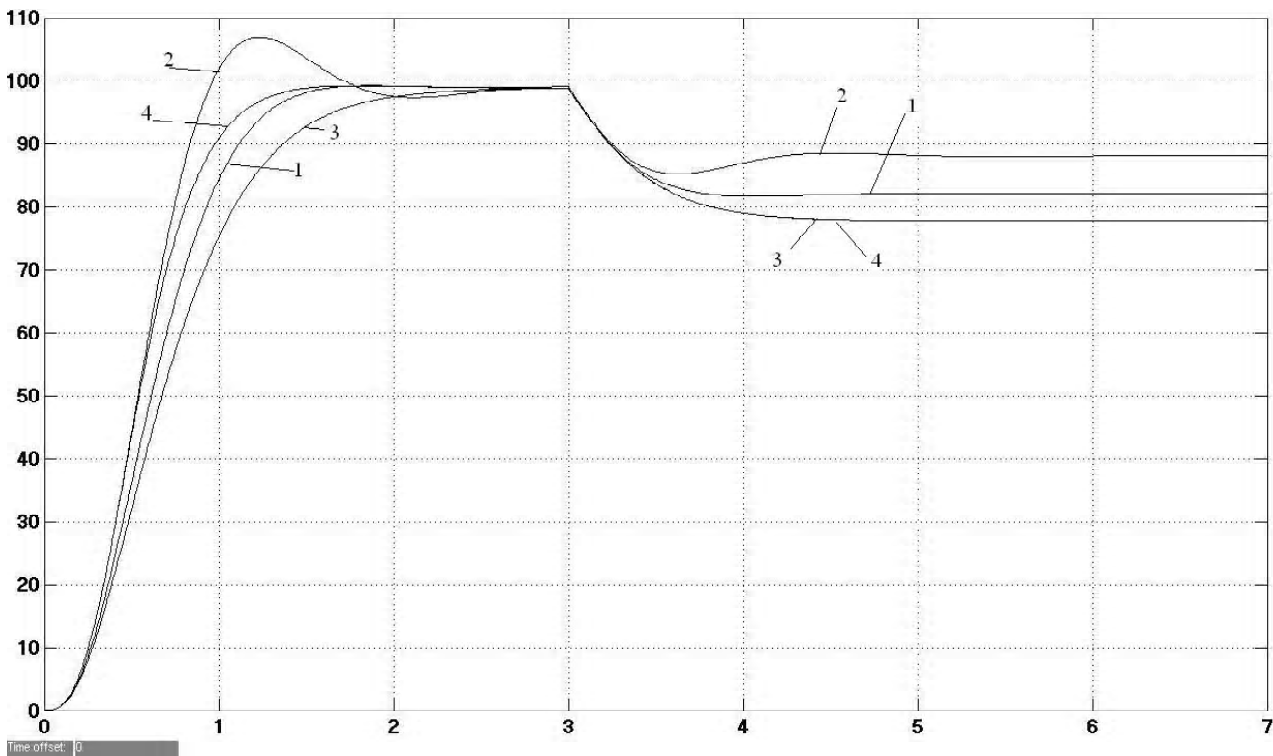


Рис. 1. Результати симуляції при дії зовнішнього навантаження в момент часу, рівний 3 с

розподілу параметрів функції належності, система буде мати гірші характеристики при відпрацюванні збурень. Ми можемо виправити цю ситуацію, змінивши параметри функції належності після виходу системи на заданий рівень функціонування, наприклад, можна налаштувати систему на максимальну швидкодію за умови відсутності перерегулювань.

ВИСНОВКИ

Робота присвячена дослідженню синтезу багатокритеріального оптимального керування зі змінними коефіцієнтами. Запропоновано підхід формування функціоналу як комбінації функціоналів зі змінними в часі ваговими коефіцієнтами. Даний підхід може бути використаний в багатьох системах, для яких характерні різного роду технічні обмеження. Проведені, наприкладі динамічної системи третього порядку, експерименти показали, що такий спосіб задання вагових коефіцієнтів забезпечує вираш у функціонуванні в порівнянні з традиційним підходом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесников, А. А. Синергетическая теория управления / А. А. Колесников. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.
2. Краснощеченко, В. И. Нелинейные системы : геометрический метод анализа и синтеза / В. И. Краснощеченко, А. П. Грищенко. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 520 с.
3. Лозинський, А. О. Дослідження стійкості систем з регулятором Такагі-Сугено-Кангі / А. О. Лозинський // Вісник НТУ «ХП» «Проблеми автоматизованого електропривода». – 2008. – Т. 30. – С. 89–90.
4. Лозинський, А. О. Аналіз стійкості систем з регулятором Такагі-Сугено / А. О. Лозинський, Л. І. Демків // ІПШ МОН і НАН України «Наука і освіта». – 2008. – Т. 4. – С. 545–549.
5. Марущак, Я. Ю. Використання стандартних форм розподілу коренів при синтезі електромеханічних систем методом параметричної оптимізації / Я. Ю. Марущак // Вісник Харківського Національного політехнічного університету. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – 2001. – № 10. – С. 88–90.
6. Фельдбаум, А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А. А. Фельдбаум. – М. : Наука, 1966. – 624 с.

7. Huang, H. Z. Fuzzy multi-objective optimization decision-making of reliability of series system / H. Z. Huang // *Microelectronics Reliability*. – 1997. – V. 3, No. 37. – P. 447–449.
8. Isidori, A. *Nonlinear control systems* / A. Isidori. – Springer-Verlag, 1995. – 550 p.
9. Loetamonphong, J. Multi-objective optimization problems with fuzzy relation equation constrains / J. Loetamonphong, S.C. Fang, R.E. Young // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2002. – No. 127. – P. 141–164.
10. Mitsuishi, T. Minimization of Quadratic Performance Function in T-S Fuzzy Model / T. Mitsuishi, Y. Shidama // *FUZZ-IEEE'02. Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. – 2002. – P. 75–79.
11. Naidu, D. S. *Optimal control systems* / D. S. Naidu. – CRC Press, 2002. – 433 p.
12. Shih, C. J. Pareto optimization of alternative global criterion method for fuzzy structural design / C. J. Shih, C. J. Chang // *Computers and Structures*. – 1995. – V. 54, No. 3. – P. 455–460.
13. Takagi, T. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // *IEEE Trans. on Syst.* – 1985. – V. SMC-15, No. 1. – P. 116–132.

Стаття надійшла до редакції 11.01.2012.

Після доробки 23.02.2012.

Лозинський А. О., Демків Л. И.

СИНТЕЗ МНОГОКРИТЕРІАЛЬНОГО ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕННЯ С ПЕРЕМЕННИМИ ВЕСОВИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ

Рассмотрены динамические системы с нечетким регулятором Такаги-Сугено. Предложен новый подход к построению функционала при многокритериальной оптимизации, который, в отличие от традиционного, предусматривает изменение весовых множителей интегральных критериев качества во времени.

Ключевые слова: нечеткая логика, функция принадлежности, функционал качества, многокритериальная оптимизация.

Lozynsky A. O., Demkiv L. I.

SYNTHESIS OF MULTICRITERIA OPTIMAL CONTROL WITH VARIABLE WEIGHTS

In paper the dynamical systems with Takagi-Sugeno fuzzy controller are considered. A new approach to constructing functional for multicriteria optimization is suggested, which, unlike traditional, allows the change of weight multipliers of integral quality criteria in time.

Key words: fuzzy logic, membership function, functional of quality, multicriteria optimization.

УПРАВЛІННЯ У ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

УДК 004.8+004.312:644.1

Бушер В. В.

Канд. техн. наук, доцент Одесского национального политехнического университета

ОПТИМАЛЬНЫЕ АСТАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ДРОБНЫМИ ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Исследованы замкнутые системы с дробным порядком астатизма от 0,5 до 2. Найдены соотношения параметров дробных пропорционально-интегрирующих и интегрально-дифференцирующих регуляторов, обеспечивающих оптимальные динамические и статические характеристики систем. Предложены методы расчета сигналов дробных регуляторов для применения в микропроцессорных системах управления.

Ключевые слова: астатическая система, дробное интегрирование, дробное дифференцирование.

ВВЕДЕНИЕ

При синтезе замкнутых систем управления для устранения статической ошибки по заданию и возмущению в контур включают интегрирующее звено требуемого порядка, а устойчивость и желаемые динамические показатели обеспечивают дополнительными форсирующими звеньями. Однако возможности настройки получаемых ПИ- или ПИД-регуляторов не всегда позволяют получить оптимальное сочетание быстродействия, перерегулирования и точности. А в некоторых случаях (например, в климатических установках, в электротехнических устройствах с суперконденсаторами), объект управления описывается дифференциальными уравнениями дробного порядка [1]. Тогда параметры ПИ- или ПИД-регуляторов подбирают по упрощенным моделям с целочисленным порядком, в результате чего добиться соответствия между теоретическими и реальными показателями систем оказывается невозможно. Существенное улучшение сочетания всех показателей может быть получено за счет использования регуляторов с дробным порядком интегрирования, обеспечивающих соответственно дробный порядок астатизма замкнутого контура.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является синтез систем управления с дробным порядком астатизма в пределах 0,5...2, обеспе-

чивающий заданные динамические и статические показатели, с использованием дробных интегрально-дифференцирующих регуляторов.

Рассмотрим систему с единичной отрицательной обратной связью, передаточная функция разомкнутого контура которой

$$H_{\text{ОПТ}}(p) = \frac{bT_v p + 1}{aT_v p^\mu (T_v p + 1)}, \quad (1)$$

где a, b – параметры настройки; T_v – некомпенсируемая малая постоянная времени объекта управления; μ – выбираемый порядок астатизма. Рассмотрим системы с $\mu \geq 0,5$, так как дробно-дифференциальные уравнения именно такого порядка описывают некоторые физические процессы, в частности, изменение температуры в объектах управления климатических систем, диффузионные процессы при заряде/разряде суперконденсаторов.

В зависимости от μ, a, b могут быть получены различные показатели качества замкнутого контура. В частности, хорошо известны соотношения настроек на модульный ($\mu = 1, a = 2, b = 0$) и симметричный ($\mu = 2, a = 8, b = 4$) оптимумы с целочисленным порядком астатизма. Необходимо отметить, что при $\mu \in [0,5; 1]$ в (1) можно принять

$b = 0$, так як даже така система характеризується прийнятними запасами устойчивости.

Исследуем реакцию системы $Y(t)$ на единичный скачок на некотором временном интервале, соответствующем расчету N точек переходного процесса с шагом Δt . Чтобы обеспечить высокое быстродействие и минимальное перерегулирование при выборе параметров настройки, зададим критерий оценки качества системы следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^N \begin{cases} (1 - Y_i) \text{ при } Y_i < 1 \\ \left(\frac{1}{\delta}(1 - Y_i)\right)^2 \text{ при } Y_i > 1 \end{cases} \rightarrow \text{Min}, \quad (2)$$

где δ – допустимое перерегулирование.

При такой постановке задачи $F(\mu, a, b)$ имеет минимумы во всем исследуемом диапазоне μ .

Зададимся $\delta = 0,05$, удовлетворяющим требованиям большинства технических систем. На рис. 1, а показаны графики зависимостей $F(\mu, a)$ в диапазоне $\mu \in [0,5; 1]$. На рис. 1, б в качестве примера показаны зависимости $F(\mu, a, b)$ при $\mu = 1,5$, а на рис. 1, в – семейства экстремальных точек при некоторых $\mu \in [1; 2]$.

Интерполяция полученных результатов с помощью инженерного пакета программ DataFit позволила получить приближенные аналитические зависимости между параметрами μ, a, b , при которых достигаются минимальные значения F . В области $\mu \in [0,5; 1]$ зависимость между заданным μ и оптимальным значением a приближенно описывается выражением

$$a = \frac{\mu}{4,683 - 5,897\mu + 1,595\mu^2}. \quad (3)$$

В области $\mu \in [1; 2]$ зависимости между заданным μ и оптимальными значениями a и b приближенно описываются выражениями

$$\begin{aligned} a &= \exp(-10,27 + 7,831\mu), \\ b &= 7,336 + 0,792a + 3,83 \ln(a). \end{aligned} \quad (4)$$

Расчеты переходных процессов для найденных оптимальных соотношений параметров, выполненные при различных $\mu \in [0,5; 2]$, показали, что система с дробным порядком астатизма может превосходить системы с классическими настройками на модульный (МО) и симметричный (СО) оптимумы по совокупности показателей. В частности, при перерегулировании не более 3 % время первого согласования может быть уменьшено в 3–6 раз. Однако при $\mu \in [0,5; 1]$ финальная часть переходного процесса затянута, после достижения максимума наступает просадка выходного сигнала до 7 %. При подаче линейно-возрастающего сигнала такая система будет характеризоваться возрастающей скоростной ошибкой.

Если такие свойства неприемлемы, то задаваясь $1 < \mu < 2$, можно сохранить желаемое быстродействие,

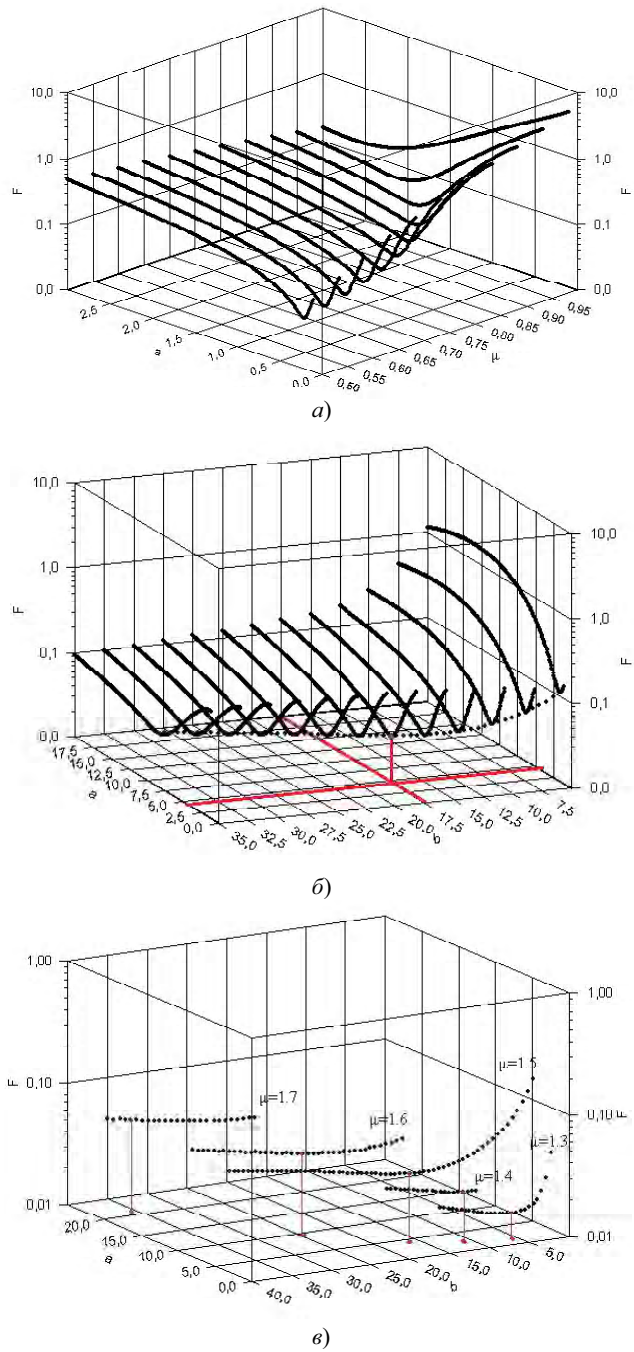
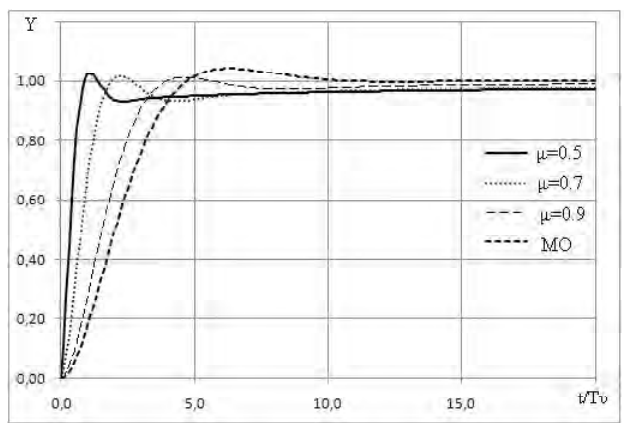


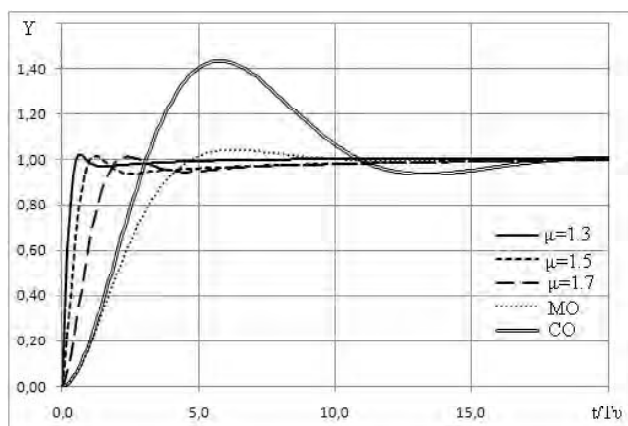
Рис. 1. Зависимости $F(\mu, a, b)$

уменьшить просадку сигнала до 3 %, обеспечить отсутствие статической ошибки при подаче скачка и уменьшить скоростную ошибку при линейно-возрастающем задающем сигнале. На рис. 2 показаны нормированные во времени (по оси абсцисс отложено t/T_v) графики переходных процессов при единичном скачке задания для систем с $0,5 \leq \mu \leq 1$ (рис. 2, а) и $1 < \mu < 2$ (рис. 2, б).

Желаемое значение μ может быть выбрано равным порядку дробно-инерционного звена или дробно-интегрирующего звена в объекте управления. Но может быть также выбрано по представленным на рис. 2 нормированным графикам переходных процессов, исходя из требуемого быстродействия системы.



а)



б)

Рис. 2. Нормированные переходные функции

Для обеспечения настройки (1) объекта управления с передаточной функцией $H_{OY}(p)$ необходимо использовать регулятор, передаточная функция которого определяется из выражения

$$H_{РЕГ}(p) = \frac{H_{ОПТ}(p)}{H_{OY}(p)}. \tag{5}$$

В случае, если объект управления является реальным дробно-инерционным звеном

$$H_{OY}(p) = \frac{k_{OY}}{(T_{OY}p^{\mu_{OY}} + 1)(T_Vp + 1)}, \tag{6}$$

необходимо использовать регулятор с передаточной функцией

$$H_{РЕГ}(p) = \begin{cases} \frac{T_{OY}}{k_{OY}aT_Vp^{\mu-1} + 1} + \frac{1}{k_{OY}aT_Vp^{\mu}} \\ \text{при } \mu \in [0, 5; 1] \\ \left(\frac{b}{a} + \frac{1}{aT_Vp}\right) \left(\frac{T_{OY}}{k_{OY}p^{\mu-1-\mu_{OY}} + 1} + \frac{1}{k_{OY}p^{\mu-1}}\right) \\ \text{при } \mu \in]1; 2]. \end{cases} \tag{7}$$

Анализ (7) показывает, что при $\mu \in [0, 5; 1]$ и $\mu = \mu_{OY}$ необходим дробный ПИ-регулятор, когда $\mu < \mu_{OY}$ – дробный ИД-регулятор, а если $\mu > \mu_{OY}$ – дробный интегральный регулятор с двумя составляющими (ИИ-регулятор), В то же время, при $\mu \in]1; 2]$ и $\mu - 1 = \mu_{OY}$ необходимо использовать последовательно соединенные ПИ- и дробный ПИ- регуляторы, когда $\mu - 1 < \mu_{OY}$ – последовательно соединенные ПИ- и дробный ИД-регуляторы, а если $\mu - 1 > \mu_{OY}$ – последовательно соединенные ПИ- и дробный ИИ-регуляторы.

Очевидно, что аналогичный анализ может быть выполнен и для объектов управления с другими передаточными функциями.

Расчет дробно-интегральной $U_{И}^{\mu}$ и дробно-дифференцирующей $U_{Д}^{\mu}$ составляющих сигналов регуляторов при подаче на вход сигнала X может быть выполнен в соответствии с модифицированным определением дробного интеграла в форме Римана-Лиувилля для численного интегрирования с шагом Δt

$$U_{Иi}^{\mu} = \frac{\Delta t^{\mu}}{\Gamma(\mu)} \sum_{j=1}^i X_{i-j+1} k_j^{\mu},$$

$$U_{Дi}^{\mu} = \frac{U_{Иi}^{1-\mu_{Д}} - U_{Иi-1}^{1-\mu_{Д}}}{\Delta t}, \tag{8}$$

где коэффициенты k_j^{μ} вычисляются по рекуррентной формуле

$$k_j^{\mu} = \frac{j^{\mu+1} - (j-1)^{\mu+1}}{\mu(\mu+1)} - \sum_{n=1}^{j-1} k_n^{\mu}. \tag{9}$$

ВЫВОДЫ

Выполнено исследование динамических и статических характеристик замкнутых систем с передаточной функцией (1) с дробным порядком астатизма от 0,5 до 2. Оценка качественных показателей таких систем с помощью критерия (2) позволила получить параметры настроек регуляторов, обеспечивающих требуемый порядок астатизма при высоком быстродействии и минимальном перерегулировании. Найдены приближенные аналитические выражения (3) и (4), позволяющие рассчитать параметры регуляторов без предварительного расчета переходных процессов. Передаточные функции (7) определяют правила выбора структуры регуляторов, а выражения (8) и (9) описывают способ вычисления выходных сигналов регуляторов с дробными интегральными и дифференцирующими составляющими, применимый в микропроцессорных системах управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушер, В. В. Идентификация элементов климатических систем дифференциальными уравнениями дробного порядка / В. В. Бушер // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2010. – Вип. 75. – С. 68–70.

2. Мартинюк, В. В. Модель суперконденсатора с дробно-интегрирующим элементом и метод идентификации ее параметров / В. В. Мартинюк, В. В. Бушер // Приводная техника. – 2011. – № 5 (93). – С. 27–33.

Стаття надійшла до редакції 13.12.2011.

Бушер В. В.

ОПТИМАЛЬНІ АСТАТИЧНІ СИСТЕМИ З ДРОБОВИМИ ІНТЕГРАЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІЙНИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Досліджено замкнуті системи з дробовим порядком астатизму від 0,5 до 2. Знайдено параметри дробових пропорційно-інтегральних та інтегрально-диференціальних регуляторів для забезпечення оптимальних динамічних та статичних характеристик. Запропоновано методи розрахунку сигналів регуля-

торів з урахуванням використання в мікропроцесорних системах управління.

Ключові слова: астатична система, дробовий інтеграл, дробова похідна.

Busher V. V.

OPTIMAL ASTATIC CONTROL WITH FRACTIONAL ORDER INTEGRAL-DIFFERENTIAL REGULATORS

The research of close-loop systems with fractional integral-differential regulators with order from 0,5 to 2,0 is carried out. Parameters of regulators for optimal dynamic and static control are defined. Presented methods of numeric solve of fractional equation for their microprocessor's realization.

Key words: astatic system, fractional integral, fractional differential.

УДК 517.92

Козырев В. Г.

Канд. техн. наук, доцент Севастопольского национального технического университета

РЕДУЦИРОВАННОЕ ТЕРМИНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Предложен редуцированный закон терминального управления скоростью вращения вала электродвигателя, использующий усеченное асимптотическое приближение динамики двигателя и существенно упрощающий алгоритм управления. Моделирование динамики вала с предложенным законом управления показало его эффективность.

Ключевые слова: разномасштабная система, терминальное управление, редуцированная асимптотика закона управления.

ВВЕДЕНИЕ

Для многих электромеханических систем часто необходимо осуществлять перевод электродвигателя (ЭД) в заданный режим работы по скорости за нужное время. Подобная задача относится к задаче терминального управления. Ее особенность состоит в наличии разномасштабных по времени процессов в объекте управления – ЭД – быстрых электрических и медленных механических. Одним из средств решения такой задачи являются асимптотические методы [1]. Они позволяют осуществить декомпозицию закона управления на «быструю» и «медленную» части, соединяя которые затем в единую комбинацию, можно найти асимптотическое приближение исходного закона. Если пренебречь быстрой частью закона управления, заменив ее условиями квазистатики, можно прийти к усеченному и, одновременно, упрощенному (редуцированному) управлению.

Указанный метод применяется в статье для формирования редуцированного терминального управления электродвигателем постоянного тока. На основании сравнения с полным законом делается вывод о достаточной точности редуцированного закона при одновременном выигрыше в простоте алгоритма управления.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данного исследования является проверка эффективности предлагаемого асимптотического метода и

применение его для построения простого и вместе с тем достаточно точного алгоритма управления типовым динамическим объектом, каким является электродвигатель.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается задача терминального управления угловой скоростью вращения вала электродвигателя постоянного тока, управляемого входным напряжением U . Процессы в ЭД описываются уравнениями

$$U - E_a - L \frac{dI}{dt} = RI,$$

$$J \frac{d\Omega}{dt} = M_m - C_{fr} \Omega - M_{load},$$

где U – управляющее напряжение, приложенное к якорной цепи электродвигателя; I – ток в якорной цепи; R и L – ее активное сопротивление и индуктивность; Ω – угловая скорость вращения вала ЭД; $E_a = C_e \Omega$ – эдс реакции якоря, пропорциональная скорости Ω (при условии постоянства потока возбуждения); $M_m = C_m I$ – вращающий магнитный момент, пропорциональный току I (при том же условии); C_{fr} – коэффициент вязкого трения; M_{load} – момент сопротивления (нагрузки) на валу.

Для моделирования выберем микродвигатель постоянного тока с параметрами из работы [2]: $R = 7,9$ Ом, $L =$

$=0,0136$ Гн, $J = 1,32 \cdot 10^{-6}$ кг·м², $C_e = C_m = 0,0246$ В·с/рад, $C_{fr} \approx 0$. Номинальные значения переменных также известны: $\Omega_{nom} = 400$ рад/с, $U_{nom} = 11,8$ В, $I_{nom} = (U_{nom} - C_e \Omega_{nom}) / R = 0,25$ А, $M_{load_nom} = C_m I_{nom} = 6,1 \cdot 10^{-3}$ Н·м.

Следуя общему подходу [1, 2], выразим разномасштабность по времени при помощи безразмерного малого параметра. В нашей задаче он должен входить в «быстрое» уравнение – уравнение для электрического тока в качестве множителя при производной тока. Для этого положим $L = L_0 \cdot \lambda$, где $L_0 = 0,136$. Тогда $\lambda = 0,1$ дает фактическое значение L . Число λ будем далее рассматривать как малый параметр, и строить асимптотику задачи по этому параметру.

Введем переменные – отклонения от номинальных значений: $\omega = \Omega - \Omega_{nom}$, $i = I - I_{nom}$, $u = U - U_{nom}$ и перепишем уравнения ЭД в отклонениях при условии $M_{load} \approx M_{load_nom}$

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= a_1\omega + a_2i + m_{load}, \\ \lambda \frac{di}{dt} &= a_3\omega + a_4i + bu. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь λ – малый параметр, ω – медленная переменная, i – быстрая, $m_{load} = M_{load} - M_{load_nom} \approx 0$, а постоянные коэффициенты выражаются формулами

$$a_1 = -\frac{C_{fr}}{J}, \quad a_2 = \frac{C_m}{J}, \quad a_3 = -\frac{C_e}{L_0}, \quad a_4 = -\frac{R}{L_0}, \quad b = \frac{1}{L_0}.$$

Поставим задачу перевести ЭД в номинальный режим по скорости из состояния с начальной скоростью $\Omega(0)$ за конечное время t_f . В терминах переменной ω это эквивалентно переводу системы (1) из начального состояния $\omega(0) = \Omega(0) - \Omega_{nom}$ в нулевое состояние $\omega = 0$. Качество перевода будем оценивать квадратичным функционалом

$$J_f = \frac{1}{2} f \omega^2(t_f) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} (q_1 \omega^2 + q_2 i^2 + ru^2) dt, \quad (2)$$

где весовые коэффициенты $f > 0$, $q_{1,2} \geq 0$, $r > 0$ выбираются дополнительно из соображений эффективности управления.

Общепринятым способом считается в настоящее время выбор значений указанных коэффициентов обратно пропорционально квадрату размаха допустимых отклонений соответственных переменных состояния и управления от желаемых значений с последующей доводкой в процессе численного моделирования [3]. В рассматриваемой нами терминальной задаче выбирается, в том числе, параметр f . Его величина берется обратно пропорциональной квадрату желаемой терминальной ошибки, т. е. ошибки управления по скорости в момент $t = t_f$. При достаточно большом весе f терминальная ошибка $\omega(t_f) = \Omega(t_f) - \Omega_{nom}$ может быть сделана сколь угодно малой: $\omega(t_f) \approx 0$ [4].

Данный способ использован в настоящей статье. Заметим, что точные регулярные методы дополнительной оптимизации системы по коэффициентам функционала качества (2) в настоящее время отсутствуют.

Не вдаваясь в рутинные промежуточные расчеты, сразу назовем выбранные значения коэффициентов:

$$f = 0,1, \quad q_1 = 1, \quad q_2 = 4600, \quad r = 300.$$

Они обеспечивают

- 1) отсутствие перерегулирования по скорости вращения вала ЭД;
- 2) приемлемую амплитуду управляющего напряжения, безопасную для якорной цепи ЭД;
- 3) достаточно малую терминальную ошибку, т. е. малое отклонение конечной скорости от заданной в 400 рад/с.

Результаты, подтверждающие указанное качество управления, приводятся в конце статьи.

Время t_f определяется требованиями к скорости управления. Для систем управления с микродвигателями, к которым относится рассматриваемая система с электродвигателем постоянного тока, можно взять время регулирования t_f равным типичному для таких систем значению в 15 миллисекунд.

Закон управления. Перепишем задачу (1), (2) в матричном виде

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, \quad (3)$$

$$J_f = \frac{1}{2} (x' \Phi x)_{t=t_f} + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} (x' Q x + ru^2) dt, \quad (4)$$

где $x = \begin{bmatrix} \omega \\ i \end{bmatrix}$, $A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ \lambda^{-1} a_3 & \lambda^{-1} a_4 \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda^{-1} b \end{bmatrix}$, $S = BR^{-1}B' = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \lambda^{-2} s \end{bmatrix}$, $s = b^2 r^{-1}$, $H = [1 \quad 0]$, $\Phi = H' H = \begin{bmatrix} f & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2 \end{bmatrix}$, штрих обозначает транспонирование.

Оптимальное управление для задачи (3), (4) на отрезке $0 \leq t \leq t_f$ определяется выражением [4]

$$u = -r^{-1} B' K(t) x, \quad (5)$$

где матрица $K(t)$ находится из уравнения Риккати

$$\frac{dK}{dt} = -KA - A'K + KSK - Q, \quad K|_{t=T} = \Phi.$$

Согласно [4] K представляется с помощью матричного разложения

$$K = P + W'(M + F^{-1})^{-1} W, \quad (6)$$

где матрицы K, P, W, M и F имеют покомпонентный вид

$$K = \begin{bmatrix} k_1 & \lambda k_2 \\ \lambda k_2 & \lambda k_3 \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} p_1 & \lambda p_2 \\ \lambda p_2 & \lambda p_3 \end{bmatrix}, W = [w_1 \quad \lambda w_2],$$

$M = m$ и $F = f$ – скаляры.

В развернутой записи матрица K приобретает тогда вид

$$K = \begin{bmatrix} k_1 & \lambda k_2 \\ \lambda k_2 & \lambda k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{10} & \lambda p_2 \\ \lambda p_2 & \lambda p_3 \end{bmatrix} + \frac{1}{m + f^{-1}} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \lambda w_2 \end{bmatrix} \cdot [w_1 \quad \lambda w_2].$$

Отдельные компоненты удовлетворяют следующим уравнениям, которые для удобства запишем в смещенном времени $\vartheta = t - t_f, -t_f \leq \vartheta \leq 0$

$$\frac{dp_1}{d\vartheta} = -2a_1 p_1 - 2a_3 p_2 + sp_2^2 - q_1, \quad p_1|_{\vartheta=0} = 0,$$

$$\lambda \frac{dp_2}{d\vartheta} = -a_2 p_1 - a_4 p_2 - \lambda a_1 p_2 - a_3 p_3 + sp_2 p_3, \quad p_2|_{\vartheta=0} = 0,$$

$$\lambda \frac{dp_3}{d\vartheta} = -2\lambda a_2 p_2 - 2a_4 p_3 + sp_3^2 - q_2, \quad p_3|_{\vartheta=0} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{dw_1}{d\vartheta} = -(a_3 - sp_2)w_2, \quad w_1|_{\vartheta=0} = 1,$$

$$\lambda \frac{dw_2}{d\vartheta} = -a_2 w_1 - (a_4 - sp_3)w_2, \quad w_2|_{\vartheta=0} = 0,$$

$$\frac{dm}{d\vartheta} = -sw_2^2, \quad m|_{\vartheta=0} = 0.$$

Асимптотика матриц обратной связи P, W и M . Согласно теореме из [4], компоненты решения системы уравнений (7) при малом λ имеют равномерные асимптотические разложения нулевого порядка вида

$$p_1(\vartheta, \lambda) = p_{10}(\vartheta) + \lambda O(1),$$

$$p_i(\vartheta, \lambda) = p_{i0}(\vartheta) + \Pi_0 p_i(\tau) + \lambda O(1) \quad (i = \overline{2, 3}),$$

$$w_1(\vartheta, \lambda) = w_{10}(\vartheta) + \lambda O(1),$$

$$w_2(\vartheta, \lambda) = w_{20}(\vartheta) + \Pi_0 w_2(\tau) + \lambda O(1),$$

$$m(\vartheta, \lambda) = m_0(\vartheta) + \lambda O(1),$$

где $\tau = (t - t_f)/\lambda$, а $O(1)$ – ограниченные на области $-t_f \leq \vartheta \leq 0, 0 \leq \lambda \leq \lambda_0$ функции от ϑ и λ, λ_0 – некоторое положительное число.

Составляющие типа $\Pi_0 X(\tau)$ быстро убывают при $\tau \rightarrow -\infty$ [1]. $\Pi_0 X(\tau) < C e^{k\tau}$ и, значит, они несутся вне малой окрестности конечного момента $t = t_f$ ($\vartheta = 0$). По этой причине в теории разномасштабных

систем они называются составляющими пограничного слоя, или «погранслойными» составляющими. Попытаемся ими пренебречь. Это приведет к потере точности задания коэффициентов обратной связи в законе (5), но лишь в конце промежутка управления (в узком пограничном слое). По нашему предположению такая потеря не должна существенно отразиться на точности управления скоростью ввиду инерционности вала двигателя. Подобное усеченное представление коэффициентов обратной связи в (5) и названо выше редуцированным. Оно имеет вид

$$p_1(\vartheta, \lambda) = p_{10}(\vartheta) + \lambda O(1),$$

$$p_i(\vartheta, \lambda) = p_{i0}(\vartheta) + \lambda O(1) \quad (i = \overline{2, 3}),$$

$$w_1(\vartheta, \lambda) = w_{10}(\vartheta) + \lambda O(1),$$

$$w_2(\vartheta, \lambda) = w_{20}(\vartheta) + \lambda O(1),$$

$$m(\vartheta, \lambda) = m_0(\vartheta) + \lambda O(1),$$

где $O(1)$ – функции от ϑ и λ , ограниченные на отрезке $-t_f \leq \vartheta \leq \vartheta_0 < 0$ при $0 \leq \lambda \leq \lambda_0, \vartheta_0$ – фиксировано и близко к нулю [4].

Главные члены записанных разложений определяют из уравнений (7), если положить в них $\lambda = 0$ [4]

$$\frac{dp_{10}}{d\vartheta} = -2a_1 p_{10} - 2a_3 p_{20} + sp_{20}^2 - q_1, \quad p_{10}(0) = 0$$

$$0 = -a_2 p_{10} - a_4 p_{20} - a_3 p_{30} + sp_{20} p_{30},$$

$$0 = -2a_4 p_{30} + sp_{30}^2 - q_2,$$

$$\frac{dw_{10}}{d\vartheta} = -(a_3 - sp_{20})w_{20}, \quad w_{10}(0) = 1, \quad (8)$$

$$0 = -a_2 w_{10} - (a_4 - sp_{30})w_{20},$$

$$\frac{dm_0}{d\vartheta} = -sw_{20}^2, \quad m_0|_{\vartheta=0} = 0.$$

Уточним, выражения вида $X(0)$ имеют здесь смысл значений функций $X(\vartheta)$ при $\vartheta = 0$, т. е. при $t = t_f$. Заметим также, так как $p_{30}(\vartheta)$ – постоянная величина, то $p_{30}(\vartheta) = p_{30}(0) = p_{30}|_{t=t_f}$.

Асимптотика матрицы K и асимптотика закона управления. Используя представленные асимптотические приближения компонент матриц P, W и M , запишем нулевое асимптотическое приближение этих матриц и всей матрицы Риккати K [4]

$$K_0 = \begin{bmatrix} k_{10} & \lambda k_{20} \\ \lambda k_{20} & \lambda k_{30} \end{bmatrix} = P_0 + W_0' W_0 (m_0 + f^{-1})^{-1} =$$

$$= \begin{bmatrix} p_{10} & \lambda p_{20} \\ \lambda p_{20} & \lambda p_{30} \end{bmatrix} + \frac{1}{m_0 + f^{-1}} \cdot \begin{bmatrix} w_{10} \\ \lambda w_{20} \end{bmatrix} \cdot [w_{10} \quad \lambda w_{20}].$$

Асимптотический закон управления выражается теперь формулой

$$u_0 = -r^{-1} B' K_0 x. \quad (9)$$

Для нахождения K_0 в функции времени надо решить уравнения (8). Для этого сначала из алгебраических уравнений системы (8) выразим члены p_{30} , p_{20} и w_{20} через константы и члены p_{10} , w_{10} . Затем подставим их в оставшиеся дифференциальные уравнения и проинтегрируем последние. Из алгебраических уравнений (8) находим

$$p_{30} = \frac{1}{s} \left(a_4 + \sqrt{a_4^2 + sq_2} \right) = \text{const},$$

$$p_{20} = \frac{1}{\sqrt{a_4^2 + sq_2}} (a_2 p_{10} + a_3 p_{30}),$$

$$p_{20}(0) = \frac{1}{\sqrt{a_4^2 + sq_2}} (a_2 p_{10}(0) + a_3 p_{30}) = \frac{1}{\sqrt{a_4^2 + sq_2}} a_3 p_{30}, \quad (10)$$

$$w_{20} = \frac{1}{\sqrt{a_4^2 + sq_2}} a_2 w_{10},$$

$$w_{20}(0) = \frac{1}{\sqrt{a_4^2 + sq_2}} a_2 w_{10}(0) = \frac{a_2}{\sqrt{a_4^2 + sq_2}},$$

Дифференциальные уравнения для оставшихся компонент запишем отдельно

$$\frac{dp_{10}}{d\vartheta} = -2a_1 p_{10} - 2a_3 p_{20} + sp_{20}^2 - q_1, \quad p_{10}(0) = 0,$$

$$\frac{dw_{10}}{d\vartheta} = -(a_3 - sp_{20})w_{20}, \quad w_{10}(0) = 1, \quad (11)$$

$$\frac{dm_0}{d\vartheta} = -sw_{20}^2, \quad m_0|_{\vartheta=0} = 0.$$

Интегрируя уравнения (11) и подставляя их решения в конечные уравнения (10), рассчитаем матрицу K_0 в функции текущего времени. Затем с помощью формулы (9), в силу уравнений объекта (1), найдем асимптотически оптимальное управление u_0 и формируемые им процессы в объекте ω_0 и i_0 . Для нахождения точных оптимальных процессов u , ω и i аналогично решим систему уравнений (7) совместно с (1), (3) при указанной выше величине малого параметра $\lambda = 0,1$.

Полные значения процессов выражаются через номинальные значения и найденные отклонения: $U = U_{nom} + u$, $\Omega = \Omega_{nom} + \omega$, $I = I_{nom} + i$ – точные оптимальные процессы; $U_0 = U_{nom} + u_0$, $\Omega_0 = \Omega_{nom} + \omega_0$, $I_0 = I_{nom} + i_0$ – их асимптотики.

Результаты расчетов матрицы Риккати и процессов управления представлены на нижеследующих рис. 1–3. Оптимальные (точные) компоненты матрицы Риккати обозначены на графиках именами $K11 = k_1$, $K12 = \lambda k_2$, $K22 = \lambda k_3$. Их нулевые асимптотические приближения – $K011 = k_{10}$, $K012 = \lambda k_{20}$, $K022 = \lambda k_{30}$. Аналогичным образом обозначены и процессы U , Ω и I – оптимальное управляющее напряжение, угловая скорость и ток в обмотке соответственно; $U0 = U_0$, $\Omega0 = \Omega_0$ и $I0 = I_0$ – их асимптотические приближения.

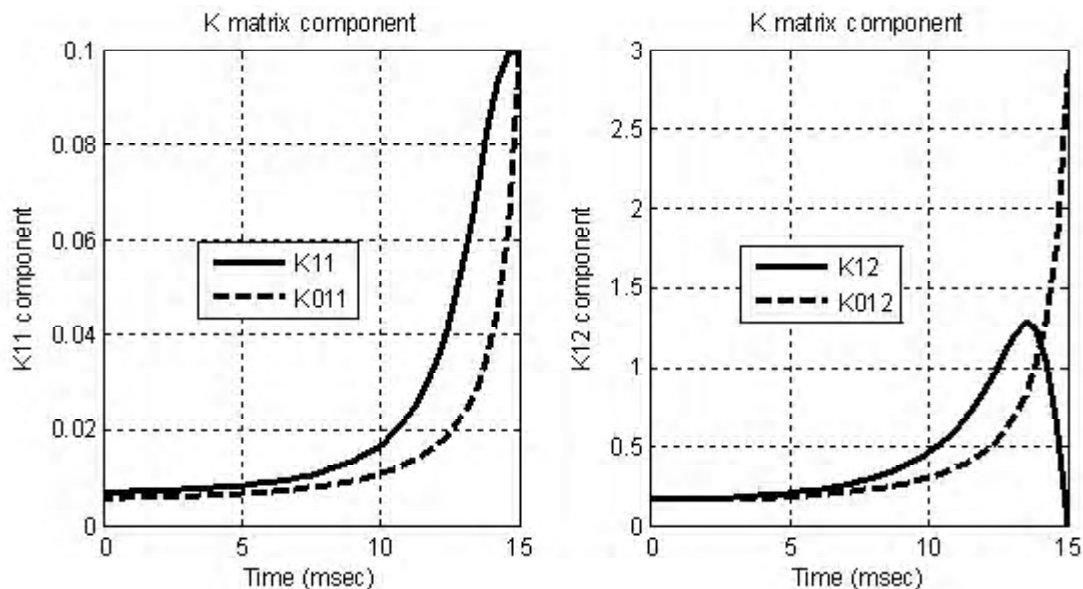


Рис. 1. Компоненты матрицы Риккати: $K11 = k_1$ и $K12 = \lambda k_2$ – точные; $K011 = k_{10}$ и $K012 = \lambda k_{20}$ – асимптотически приближенные

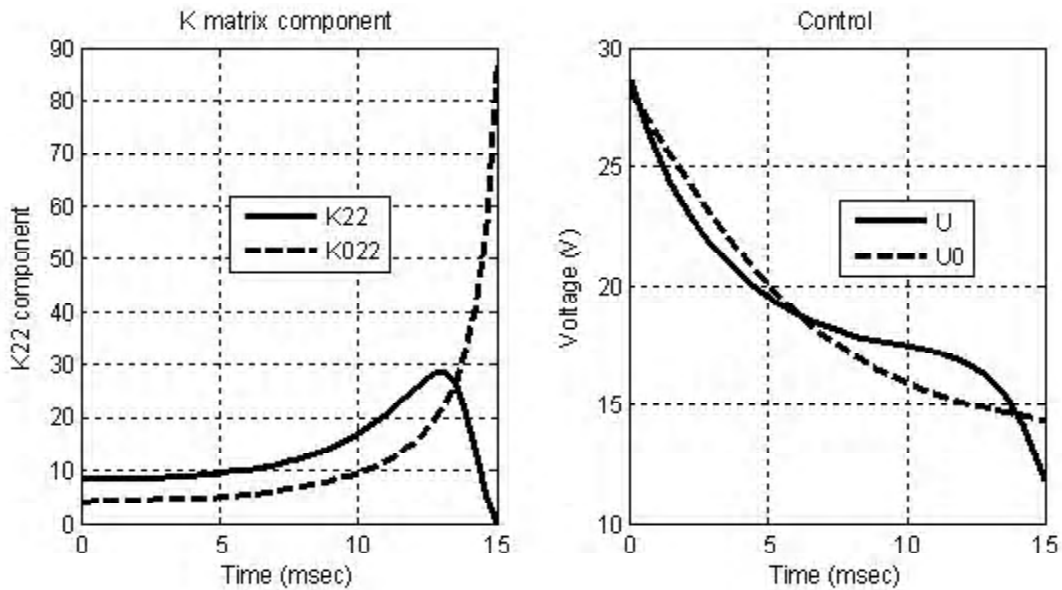


Рис. 2. Компонента матрицы Риккати: $K_{22} = \lambda k_3$ – точная; $K_{022} = \lambda k_{30}$ – асимптотически приближенная (слева). Управляющее электрическое напряжение U и его асимптотическое приближение $U_0 = U_0$ (справа)

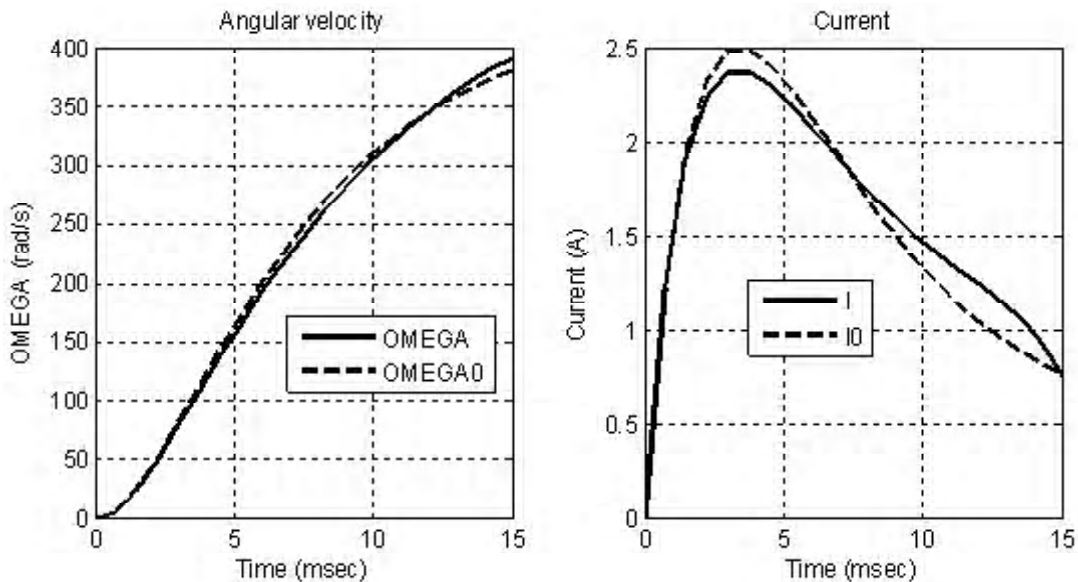


Рис. 3. Угловая скорость вращения вала двигателя $OMEGA = \Omega$, ток в обмотке I , их асимптотические приближения $OMEGA_0 = \Omega_0, I_0 = I_0$

Из графиков на рис. 1 и 2 наблюдается определенное расхождение точных и асимптотических компонент матрицы Риккати. Это связано с использованием асимптотики нулевого порядка малости по λ , а также с отбрасыванием погранслойных составляющих.

Тем не менее, сами процессы управления близки (см. напряжения U и U_0 на рис. 2, справа, скорости микродвигателя Ω и Ω_0 на рис. 3, слева и токи I и I_0 на рис. 3, справа). Заметим, что это наблюдается при довольно жестком ограничении на время управления, составляющее в нашем примере всего лишь 15 мс.

Одновременно достигается достаточно точный терминальный переход скорости из нулевого значения в заданное номинальное Ω_{nom} за указанное малое время 15 мс без перерегулирования (см. рис. 3, слева).

Следует также отметить, что, хотя и происходит бросок пускового тока I до 2,5 А (см. рис. 3, справа), но этот бросок кратковременный. Он не может вызвать перегрева обмотки микродвигателя.

ВЫВОД

Выполненные расчеты свидетельствуют о приемлемой точности упрощенной асимптотики закона управления. Формирование подобного управления осуществляется путем решения более простых уравнений, чем точного, оптимального управления. Его встраивание в управляющий микроконтроллер связано с заданием существенно меньшего числа узловых точек по времени и, вследствие этого, уменьшением расхода объема памяти и времени работы контроллера.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильева, А. Б. Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных уравнений / А. Б. Васильева, В. Ф. Бугузов. – М. : Наука, 1973. – 272 с.
2. Yackel, R. A. A boundary layer method for the matrix Riccati equation/ R. A. Yackel, P. V. Kokotovic // IEEE Trans. on Automatic Control. – 1973. – V. 18. – № 1, February. – P. 17–24.
3. Kwakernaak, H. Design Methods for Control Systems / O. H. Bosgra, H. Kwakernaak, G. Meinsma. – Notes for a course of the Dutch Institute of Systems and Control, 2006. – 319 pp.
4. Козырев, В. Г. Редуцированный оптимальный регулятор выхода сингулярно возмущенных систем / В. Г. Козырев // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2005. – № 1. – С. 134–139.

Стаття надійшла до редакції 27.01.2012.

Після доробки 24.02.2012.

Козырев В. Г.

РІЗНОМАСШТАБНЕ ТЕРМІНАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Запропонований редукований закон термінального керування швидкістю обертання вала електродвигуна, що враховує регулярні компоненти асимптотичного представлення динаміки двигуна і істотно спрощує алгоритм керування. Моделювання динаміки вала із запропонованим законом керування показало його ефективність.

Ключові слова: різномасштабна система, термінального керування, зредукована асимптотика закону керування.

Kozyrev V. G.

MULTI-TIME-SCALE TERMINAL CONTROL OF MOTOR AXIS ANGULAR VELOCITY

Reduced law of terminal control of electric motor shaft speed of rotation utilizing truncated motor dynamics asymptotic approximation and appreciably simplifying control algorithm is proposed. Modeling of the dynamics of the shaft with the proposed control law has shown its effectiveness.

Key words: multi-time-scale system, terminal control, reduced asymptotic of control law.

ABSTRACTS. REFERENCES.

RADIOPHYSICS

Gorbenko V. I., Gorban A. N.

THERMAL DECOMPOSITION OF INDIUM PHOSPHIDE IN VACUUM AND ATOMIC HYDROGEN ENVIRONMENT

The thermal decomposition of indium phosphide has been investigated by Auger-electron spectroscopy and mass-spectroscopy. Scanning electron microscopy has been used for study of indium islands growth on surface of the compound semiconductor. The role of atomic hydrogen in processes of decomposition and growth of metallic islands was determined by comparing with these processes under vacuum.

Key words: indium phosphide, atomic hydrogen, thermal decomposition, scanning electron microscopy.

REFERENCES

1. M'hamedi O., Proix F., Sebenne C. A. Interaction of atomic hydrogen with cleaved InP. I. The adsorption stage, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, 1988, Vol. 6, No. 2, pp. 193–198.
2. Proix F., M'hamedi O., Sebenne C. A. Interaction of atomic hydrogen with cleaved InP. II. The decomposition stage, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, 1988, Vol. 6, No. 2, pp. 199–203.
3. Proix F. Dissociation effects of H and H_2^+ on clean III–V compounds, *Physica B*, 1991, No. 170, pp. 457–468.
4. Schaefer J. A. Atomic hydrogen – a local probe for interface characterization, *Surface Science*, 1987, No. 189/190, pp. 127–136.
5. Gorbenko V., Shvets J., Gorban A. Oxidation and metallization in $H_2/H_2O/InP$ system. Proceedings of the Twenty-Seventh State-of-The-Art Program On Compound Semiconductors (SOTAPOCS XXVII) by editors S. N. G. Chu, D. N. Buckley, K. Wada et. al, Vol. 97 21, The Electrochemical Society, Pennington, 1997, pp. 375–381.
6. Panish M. B., Arthur J. R. Phase equilibria and vapor pressures of the system In+P. J, *Chem. Thermodynamics*, 1970, Vol. 2, No. 3, pp. 299–318.

Nikonov A. Y., Nebesnjuk O. J., Shmaly S. L., Nikonova Z. A.

RESEARCH OF FEATURES THE FORMATION OF DEFECTS IN HIGHLY ALLOYING SILICON DURING IRRADIATED

In the article the results of experimental research mechanisms interaction high-energy radiation on silicon.

Key words: radiation, doping impurity, concentration.

SPISOK LITERATURY

1. Emcev V. V., Mashovec T. V. Primesi i tochechny'e defekty' v poluprovodnikax. Ed. by Ry'vkin S.M. Moscow, Radio i svyaz', 1981, 248 p.
2. Shherbachev K. D., Bublik V. T., Mordkovich V. N. Osobennosti obrazovaniya radiacionny'x defektov v sloe kremniya struktur «kremnij na izolyatore», *Fizika i texnika poluprovodnikov*, 2011, Vol. 45, No. 6, pp. 754–758.
3. Vavilov V. S., Uxin N. A. Radiacionny'e e'ffekty' v poluprovodnikax i poluprovodnikov'x priborax. Moscow, Atomizdat, 1969, 312 p.
4. Tompson M. Defekty' i radiacionny'e povrezhdeniya v metallax. Moscow, Mir, 1971, 368 p.
5. Pagava T. A., Bzhalava N. T., Majsradz N. I. Dva kanala otzhiga divakansij v obluchenny'x kristallax kremniya n-tipa, *Ukrainskyi fizychnyi zhurnal*, 2010, Vol. 55, No. 11, pp. 1195–1200.
6. Stas' V. F., Antonova I. V., Neustroev E. P. Termoakceptory' v obluchennom kremnii, *Fizika i texnika poluprovodnikov*, 2000, Vol. 34, No. 2, pp. 162–167.

RADIO ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

Petrova K. V., Furmanova N. I., Farafonov A. Y.

DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED ALGORITHM FOR THE DESIGN OF MICROSTRIP BAND-PASS ON HAIRPIN RESONATORS FILTERS WITH SLOTS IN THE GROUND PLANE ON THE ELECTRODYNAMICS ANALYSIS IN ANSOFT HFSS

Analysis of microstrip band-pass filters hairpin resonators meander shape with slots in the ground plane is presented. The calculations of the geometric parameters of the band-pass on hairpin resonator filters on the basis of prototype filters of reduce frequencies are presented. A model of the band-pass on hairpin resonator filters with slots in the ground plane has been designed and was used optimization. In research a simplified algorithm for the design process of this type of filters is proposed.

Key words: pass-band filter, coupled line, slots in the ground plane, hairpin resonators, center frequency.

SPISOK LITERATURY

- Nikolaev M. Kompaktny'e mikro poloskovy'e fil'try' s povy'shennoj selektivnost'yu, *Sovremennaya e'lektronika*, 2008, No. 1, pp. 28–30.
- Lotfi Neyestanak A. A. Enhanced Wide Band Microstrip Hairpin Filter, *Journal of Mobile Communication*, 2009, Vol. 3, No. 3, pp. 59–61.
- Sulaiman A., Mokhtar H., Jusoh H., Baba H., Awang A., Ain F. Simple Multilayer Hairpin Bandpass Filter, *European Journal of Scientific Research*, 2010, Vol. 42, No. 4, pp. 604–613.
- Hasan A., Nadeem A. E. Novel Microstrip Hairpinline Narrowband Bandpass Filter Using Via Ground Holes, *Progress In Electromagnetics Research*, 2008, No. 78, pp. 393–419.
- Militaru N., Banciu M. G., Lojewski G. Enhanced Couplings in Broadband Planar Filters with Defected Ground Structures, *Romanian Journal of Information*, 2007, Vol. 10, No. 2, pp. 199–212.
- Gipsman A. I., Krasnoperkin V. M., Samoxin G. S., Silin R. A. Sovremennyy'e metody' i rezul'taty' kvazistaticheskogo analiza poloskovy'x linij i ustrojstv, *Obzory' po e'lektronnoj tekhnike. Seriya 1. E'lektronika SVCh*, No. 1 (1602), Moscow, CzNII «E'lektronika», 1991, 94 p.
- Velazquez-Ahumada M.-C., Martel J., Medina F. Parallel coupled microstrip filters with ground-plane aperture for spurious band suppression and enhanced coupling. *IEEE trans. on microwave theory and techniques*, 2004, Vol. 52, No. 3, pp. 1082–1086.
- Mattej D. L., Yang L., T. Dzhons E. M. Fil'try' SVCh, *soglasuyushhie cepi i cepi svyazi*, Vol. I. Ed. by Alekseeva L. V., Kushnira F. V. Moscow, «Svyaz'», 1971, 440 p.
- Maloraczki L. G., Yavich L. R. Proektirovanie i raschet SVCh e'lementov na poloskovy'x liniyax. Moscow, «Sov. radio», 1972, 232 p.
- Farafonov A. Yu., Voropaj A. Yu., Karpukov L. M. Sintez mikro poloskovy'x polosovy'x fil'trov na svyazanny'x liniyax s otverstiyami v e'krane, *Radioelektronika, upravlinnia*, 2009, No. 1 (20), pp. 41–44.

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING

Gostev V. I.

DESIGNING OF AN THREE-REGIME FUZZY CONTROLLER FOR SYSTEMS OF ACTIVE QUEUE MANAGEMENT IN TCP/IP NETWORKS

Questions of designing of an three-regime fuzzy controller are stated at identical triangular membership functions with three terms for systems of active queue management in TCP/IP networks and the basic scheme of controller in system MATLAB is presented

Key words: designing, fuzzy controller, membership functions, active queue management, TCP/IP networks, MATLAB.

SPISOK LITERATURY

- Ming Liu, Wenhua Dou, Xiao Rui Design of a Multi-model Fuzzy Controller for AQM. *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery – FSKD: Third International Conference (September 24–28, 2006, Xi'an)*, Lecture Notes in Computer Science, China, Xi'an, 2006, Vol. 4223, pp. 739–742.
- Weiyan Liu, Liu Liu, Zhang Shunyi, Zhang Mu, Tao Liu A fuzzy-logic control algorithm for active queue management in IP networks, *Journal of Electronics*, 2008, Vol. 25, No. 1, pp. 102–107.
- Hadjadjaoul Y., Nafaa A., Negru D., Mehaoua A. FAFC: Fast Adaptive Fuzzy AQM Controller For TCP/IP Networks. *IEEE GLOBAL Telecommunication Conference (29.11–3.12, 2004)*, Dallas, Texas, USA, 2004. pp. 95–98
- Chrysostomou C., Pitsillides A., Hadjipollas G., Polycarpou A., Sekercioglu M. Fuzzy Logic Based Congestion Control in TCP/IP Networks for Quality of Service Provisioning. *Next Generation Teletraffic and Wired, Wireless Advanced Networking (NEW2AN'04): Proceedings of the International Conference (2–6 February 2004, St. Petersburg)*, St. Petersburg, Russia, 2004, pp. 235–243.
- Chrysostomou C., Pitsillides A. Fuzzy logic congestion control in TCP/IP tandem networks. *Computers and Communications (IEEE ISCC 2006): Proceedings of the 11th IEEE Symposium (June 26–29, 2006, Cagliari)*, Cagliari, Italy, 2006, pp. 123–129.
- Chrysostomou C., Pitsillides A. Using Fuzzy Logic Control to Address Challenges in AQM Congestion Control in TCP/IP Networks. *Workshop on Modeling and Control of Complex Systems (MCCS'05): CD ROM Proceedings (June 30–July 1, 2005, Ayia Napa)*, Ayia Napa, Cyprus, 2005, 22 p.
- Di Fatta G., Hoffmann F., Lo Re G., Urso A. A genetic algorithm for the design of a fuzzy controller for active queue management. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 2003, Vol. 33, Iss. 3, R. pp. 129–134.
- Yaghmaee M. H., Toosi H. A. A Fuzzy Based Active Queue Management Algorithm. *SPECTS'2003: Proc. International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (July 20–24)*, 2003, Montreal, Canada, pp. 458–462.
- Gostev V. I. Nechetkie regulatory v sistemax avtomaticheskogo upravleniya. Kiev, Radioamator, 2008, 972 p.
- Gostev V. I. Novy'j metod proektirovaniya odnogo klassa nechetkix cifrov'x reguljatorov, *Problemy' upravleniya i informatiki*, 2007, No. 6, pp. 73–84
- Gostev V. I. Novy'j metod proektirovaniya odnogo klassa nechetkix cifrov'x reguljatorov. *Avtomatika–2007: Materialy XIV mizhnarodnoi konferentsii z avtomaticheskogo upravlinnia (10–14 veresnia 2007 roku, m. Sevastopol)*, Ch.1, Sevastopol, CNU Iale ta P, 2007, pp. 122–132.
- Gostev V. I., Skurtov S. N. Fazzi-sistemy' aktivnogo upravleniya ochered'yu v setyax TCP/IP: monografiya. Nezhin, OOO Vydavnistvo «Aspekt-Poligraf», 2011, 464 p.

Gofman Ye., Oliinyk A., Subbotin S.

LINGUISTIC RULES BASES REDUCTION BASED ON DECISION TREES

The problem of linguistic rules induction is considered. A method of decision trees identification for linguistic rules induction is developed. The software based on the proposed method is created. Experiments on the solution of practical problems, which allowed to investigate the effectiveness of the proposed method are made.

Key words: decision tree, rules induction, linguistic rule.

SPYSOK LITERATURY

- Encyclopedia of artificial intelligence. Ed. by J. R. Dopico, J. D. de la Calle, A. P. Sierra. New York, Information Science Reference, 2009, Vol. 1–3, 1677 p.
- Barsegyan A. A. *Texnologii analiza danny'x: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP: uchebnoe posobie*. St. Petersburg, BHV, 2007, 384 p.
- Quinlan J. R. Decision trees and decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1990, No. 2 (20), pp. 339–346.
- Quinlan J. R. Induction of decision trees, *Machine Learning*, 1986, No. 1, pp. 81–106.
- Gelfand S. B., Ravishankar C. S., Delp E. J. An Iterative Growing and Pruning Algorithm for Classification Tree Design. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, No. 13 (2), pp. 163–174.
- Liu X., Da Q. A decision tree solution considering the decision maker's attitude, *Fuzzy Sets and Systems*, 2005, No. 152 (3), pp. 437–454.
- Breiman L., Friedman J. H., Olshen R. A., Stone C. J. Classification and regression trees. California, Wadsworth & Brooks, 1984, 368 p.
- J. Willems F. M., Shtarkov Y. M., Tjalkens T. J. The Context Tree Weighting Method: Basic Properties, *IEEE Transactions on Information Theory*, 1995, No 3, pp. 653–664.
- UCI Machine Learning Repository [electronic resource] / Center for Machine Learning and Intelligent Systems, Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>.

GRAPH-SUBGRAPH ISOMORPHISM PROBLEM SOLVING FOR DESIGNING SPECIAL COMPUTERS

An advanced algorithm for solving graphs isomorphism problem is proposed and experimental results of its efficiency are presented. Object of investigation is set of control flow graphs of solutions achieved, that were received after circumvent of the semantic network by Warren abstract machine.

Key words: declarative logic, predicate, O-Tree, Prolog, recursively returning, graph-subgraph isomorphism.

SPISOK LITERATURY

1. Goldobin A. A. Kvazigomomorfnoe preobrazovanie gipergrafov v avtomatizacii proektirovaniya ustrojstv upravleniya, *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, 2006, No. 1, p. 41.
2. Hassan Ait-Kasi Warren's Abstract Machine: a tutorial reconstruction. MIT Press, 1999, 144 p.
3. Il'yashenko M. B. Razrabotka i issledovanie parallel'nogo algoritma proverki graf-podgraf izomorfizma. *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, 2006, No. 1, pp. 63–69.
4. Pinchuk V. P. Osnovannaya na volnovom razlozhenii sistema invariantov dlya prosty'x grafov i algoritm raspoznavaniya izomorfnosti. Kiev, 1995, Dep. v GNTB Ukrainy' 10.05.95, N 1002 – Uk95.
5. Barkalov A. A. Sintez ustrojstv upravleniya na programmiruemy'x logicheskix ustrojstvax. Doneczk, RVA DonNTU, 2002, 262 p.
6. Solov'ev V. V. Proektirovanie cifrovyy'x sistem na osnove programmiruemy'x logicheskix integral'ny'x sxem. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom, 2001, 636 p.

Lysytska I. V.

COMPARING ON EFFECTIVENESS OF SUPERBOXES SOME MODERN CIPHERS

New method of assessment indicators provable security block symmetric ciphers sets out. With application of this method are analyzed for differential properties superblock three ciphers: cipher AES, the reduced version cipher Muhomor and cipher MISTY1. The results of computational experiments to determine the values of AMDP and MADP AES superblock are presented. Demonstrated that the resistance of large ciphers and, in particular cipher Rijndael (AES) is independent of the differential properties of S-blocks used in the ciphers. It seems like one of the promising solutions for building superblocks transformation FI cipher MISTY1, which is noteworthy that sells for one cycle of differential performance random permutation corresponding degree.

Key words: of provable security, differential, superblock, random permutation.

SPISOK LITERATURY

1. Lamberger M., Daemen J., Pramstaller N. Computational aspects of the expected differential probability of 4-round AES and AES-like ciphers. *Abstract – 8th Central European Conference on Cryptography 2008. Computing – 2009*, pp. 85–104. DOI: 10.1007/s00607-009-0034-y.
2. Daemen J., Rijmen V. Understanding two-round differentials in AES. Proc. Security and Cryptography for Networks (SCN 2006), LNCS, 4116. Edited by De Prisco, R., Yung M. Springer, 2006, pp. 78–94.
3. Keliher L., Sui J. Exast maximum expected differential and linear probability for 2-round advanced encryption standard (AES). Cryptology ePrint archive Report 2005/321, 2005, Access mode: <http://eprint.iacr.org>.
4. Sano F., Ohkuma K., Shimizu H., Kawamura S. On the Security of Nested SPN Cipher against the Differential and Linear Cryptanalysis, *IEICE Trans. Fundamentals*, January 2003, Vol. E86-a, No.1, pp. 37–46.
5. Dolgov V. I., Lisiczka I. V., Kazimirov A. V. Variacii na temu shifra Rijndael, *Prikladnaya radioelektronika*, 2010, Vol. 9, No. 3, pp. 321–325.
6. Lisiczka I. V., Oleshko O. I., Rudenko S. N. Kriptograficheskie svoystva umen'shennoj versii shifra «Muxomor», *Spetsialni telekomunikatsiini systemy ta zakhyst informatsii. Zbirnyk naukovykh prats*, Kyiv, 2010, No. 2 (18), pp. 33–42.
7. Kuznecov A. A., Lisiczka I. V., Isaev S. A. Linejny'e svoystva blochny'x simmetrichny'x shifrov, predstavleny'x na ukrainskij konkurs, *Prikladnaya radioelektronika*, 2011, Vol. 10, No. 2, pp. 135–140.
8. Lisiczka I. V., Kovtun V. V. Ob uchastii S-blokov v formirovanii maksimal'ny'x znachenij linejny'x veroyatnostej blochny'x simmetrichny'x shifrov, *Mezhvedomstvenny'j nauchn. texnicheskij sbornik «Radiotexnika»*, 2011, No. 166, pp. 17–25.

9. Lisiczka I. V., Nastenka A. A. Bol'shie shifry' – sluchajny'e podstanovki, *Mezhvedomstvenny'j nauchn. tekhnicheskij sbornik «Radiotekhnika»*, 2011, No. 166, pp. 50–55.
10. Lisiczka I. V., Kajdalov D. S. Differencial'ny'e svojstva shifra FOX, *Prikladnaya radioelektronika*, 2011, Vol. 10, No. 2, pp. 122–126.
11. Horbenko I. D., Bondarenko M. F., Dolhov V. I. Perspektivny blokovi simetrychnyi shyfr «Mukhomor» – osnovni polozhennia ta spetsyfikatsiya, *Prikladnaya radioelektronika*, 2007, Vol. 6, No. 2, pp. 147–157.
12. Matsui M. New block encryption algorithm Misty. *Fast Software Encryption '97, LNCS 1267*. Ed. by E. Biham. Springer-Verlag, 1997, pp. 64–74.
13. Gorbenco I. D., Dolgov V. I., Lisiczka I. V., Olejnikov R. V. Novaya ideologiya ocenki stojkosti blochny'x simmetrichny'x shifrov k atakam differencial'nogo i linejnogo kriptanaliza, *Prikladnaya radioelektronika*, 2010, Vol. 9, No. 3, pp. 212–320.

Barkalov A. A., Malcheva R. V., Soldatov K. A.

OPTIMIZATION OF MOORE FINITE STATE MACHINE IMPLEMENTED ON THE PROGRAMMABLE LOGIC

This article is proposed a method which is designed to reduce the number of input variables and intermediate terms of Boolean functions. The method is based on the extended codes of states and replacement of logic conditions. Application of the proposed method allows up to 20% reduction in the total count of macrocells in blocks BLC and BFM.

Key words: Moore FSM, Programmable Logic, GSA, pseudoequivalent states, replacement of logic conditions.

SPISOK LITERATURY'

1. Baranov S. Logic and System Design of Digital Systems. Tallinn, TUT Press, 2008, 328 p.
2. Barkalov A., Titarenko L. Logic Synthesis for FSM-based Control Units. Berlin, Springer, 2009, 233 p.
3. Grushniczkij R. I., Murzaev A. X., Ugryumov E. P. Proektirovanie sistem s ispol'zovaniem mikroshcem programmiruemoj logiki. Saint Petersburg, BXV.-Peterburg, 2002, 608 p.
4. Maxfield C. The Design Warrior's Guide to FPGAs. Amsterdam, Elsevier, 2004, 541 p.
5. Solov'yov V. V., Klimovich A. S. Logicheskoe proektirovanie cifrov'y'x sistem na osnove programmiruemy'x logicheskix integral'ny'x sxem. Moscow, Goryachaya liniya-Telekom, 2008, 376 p.
6. DeMicheli G. Synthesis and Optimization of Digital circuits. New York, McGraw Hill, 1994, 541 p.
7. FPGA, CPLD, and ASIC from Altera: baza danny'x sodержit svedeniya o mikroshcemax PLIS firmy' Altera, Access mode: <http://www.altera.com>.
8. FPGA and CPLID Solutions from Xilinx, Inc: baza danny'x sodержit svedeniya o mikroshcemax PLIS firmy' Xilinx, Access mode: www.xilinx.com.
9. Cypress Semiconductor: baza danny'x sodержit svedeniya o mikroshcemax PLIS firmy' Cypress, Access mode: www.cypress.com.
10. Barkalov A. A. Principy' optimizacii logicheskoy sxemy' mikroprogrammno avtomata Mura, *Kibernetika i sistemy'j analiz*, 1998, No. 1, pp. 65–72.
11. Barkalov A. A., Mal'cheva R. V., Soldatov K. A. Matrichnaya realizaciya avtomata Mura s rasshireniem kodov sostoyanij perexoda, *Nauchny'e trudy' Doneczkogo nacional'nogo texnicheskogo universiteta. Seriya «Informatika, kibernetika i vy'chislitel'naya texnika» (IKVT-2010)*, 2010, No. 11 (164), pp. 79–83.
12. Baranov S. Logic Synthesis for Control Automata. New York, Kluwer Academic Publishers, 1994, 312 p.

Kirichenko L. O., Demerchan K. A., Kayali E., Habachyova A. Yu.

MODELING TELECOMMUNICATIONS TRAFFIC USING STOCHASTIC MULTIFRACTAL CASCADE PROCESS

In the work the simulation of telecommunications traffic has been examined, which has multifractal properties, based on a mathematical model of the stochastic multiplicative cascade, the weights of which are beta probability distribution.

Key words: a stochastic cascade process, the model of telecommunications traffic, self-similar process, multifractal process.

SPISOK LITERATURY

1. Leland W. E., Taqqu M. S., Willinger W., Wilson D. V. On the self-similarity of ethernet traffic, *IEEE/ACM Transactions of Networking*, 1994, No. 2 (1), pp. 1–15.
2. Sheluhin O. I., Smolskiy S. M., Osin A. V. Similar processes in telecommunications. John Wiley & Sons Ltd, England, 2007, 337 p.
3. Stollings V. *Sovremennyye komp'yuternyye seti 2-e izd.* Saint Petersburg, 2003, 784 p.
4. Sheluxin, O. I. *Mul'tifraktal'nyye infokommunikatsionnyye prilozheniya prilozheniya.* Moscow, Goryachaya Liniya-Telekom, 2011, 578 p.
5. Veitch D., Hohn N., Abry P. Multifractality in TCP/IP traffic: the case against, *Computer Networks-2005*, No. 48 (3), pp. 293–313.
6. Riedi R. H., Doukhan P., Oppenheim G., Taqqu M. S. *Multifractal processes. Long Range Dependence: Theory and Applications*, Birkhuser, 2002, pp. 625–715.
7. Kantelhardt J. W. *Fractal and Multifractal Time Series*, 2008, Access mode: <http://arxiv.org/abs/0804.0747>.
8. Feder E. *Fraktaly*. Moscow, Mir, 1991, 254 p.
9. Calvet L., Fisher A., Mandelbrot B. B. *Large Deviations and the Distribution of Price Changes, Cowles Foundation Discussion Paper*, 1997, No. 1165, pp. 1–30.
10. Malla S. *Ve'jvlety' v obrabotke signalov.* Moscow, Mir, 2005, 671 p.
11. Muzy J. F., Bacry E., Arneodo A. Multifractal formalism for fractal signals: the structure-function approach versus the wavelet-transform modulus-maxima method, *Phys. Rev. E*, 1993, Vol. 47, pp. 875–884.
12. Pavlov A. N., Anishhenko V. S. *Mul'tifraktal'nyj analiz signalov, Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya «Fizika»*, 2007, Vol. 7, No. 1, pp. 3–25.

Koshevoy N. D., Sukhobrus E. A.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF OPTIMIZATION METHODS OF MULTILEVEL MULTIFACTOR EXPERIMENT PLANS

A method for finding the optimal or close to the optimum implementation value of a multi-level multifactorial experiment plan are proposed. To automate the search process using the proposed method, the software was developed. A comparative analysis of the developed software with multi-level program for finding the optimal combinatorial plans of multifactor experiment, which implements the generating permutations method with a minimal number of adjacent elements transpositions are implemented.

Key words: software, simplex method, speed.

SPISOK LITERATURY

1. Koshovyi M. D., Kostenko O. M., Derhachov V. A. *Kompiuterna prohrama «Prohrama poshuku optymalnykh bahatorivnykh kombinatornykh planiv bahatofaktornoho eksperymentu».* Zareistr. v Derzh. depart. intelektualnoi vlasnosti Ministerstva osvity i nauky Ukrainy; Reiestr. 28.01.2010, Svid. pro reiestr. avtor. prava na tvir # 31824.

MODELS AND ALGORITHMS FOR FINDING ERRORS WHILE SOLVING TASKS USING COMPUTER-ASSISTED LEARNING

An algorithm for diagnosing errors in a computer training program for solutions of the control system characteristic equation using a numerical method is offered. Its feature is the formation of a product knowledge base for searching errors and using dichotomous tree in the process of diagnosis.

Key words: computer training programs, diagnosis, dichotomous tree.

SPISOK LITERATURY

- Gurzhiy A. N., Krivcov V. S., Kulik A. S., Mirnaya E. V., Chuxraj A. G. Informacionno-analiticheskie modeli upravleniya texnicheski vy'sshimi uchebny'mi zavedeniyami. Kharkov, XAI, 2004, 386 p.
- Pishhuxina O. A., Biryukova D. V., Klimentko O. V. Informacionnaya texnologiya razrabotki komp'yuterny'x obuchayushhix program, *Radioelektroni i kompiuterni systemy*, 2006, No. 2 (14), pp. 57–62.
- Kulik A., Chukhray A., Pedan S., Kulik T. Development of the universal environment for creation and translation of intelligent tutoring programs. In *Proceedings of the International Conference of «Interactive computer aided learning» ICL 2009: EPortfolio and Quality in e-Learning*, Austria, Villach, 2009, pp. 579–588.
- Pedan S. I. Modeli i metody' intellektual'noj komp'yuternoj podderzhki priobreteniya professional'ny'x znanij i umenij, *Sistemy upravlinnia, navigatsii ta zviazku: zbirnyk naukovykh prats*, Kiev, 2011, No. 4 (20), pp. 177–190.
- Pishchukhina O. O., Biriukova D. V., Klymenko O. V. Svidotstvo # 17725. Kompiuterna prohrama «Navchalna prohrama rozviazannia dyferentsiinykh rivnian operatornym metodom». Data reiestratsii 28.08.06.
- Pishchukhina O. O., Biriukova D. V., Klymenko O. V. Svidotstvo # 17651. Kompiuterna prohrama «Navchalna prohrama rozviazannia dyferentsiinykh rivnian metodom Eilera». Data reiestratsii 15.08.06.
- Dergachev K. Yu., Pishhuxina O. A., Klochok A. Yu. Formirovanie kompleksa intellektual'ny'x obuchayushhix programm pri reshenii navigacionny'x zadach, *Lyudina i kosmos*, 2011, pp. 211.
- Pishhuxina O. A., Klochok A. Yu. Podxod k formirovaniyu obratnoj svyazi v intellektual'ny'x obuchayushhix sistemax v sfere vy'sshego texnicheskogo obrazovaniya, *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, 2011, No. 2, pp. 107–110.
- Kulik A. S. Signal'no-parametricheskoe diagnostirovanie sistem upravleniya. Kharkov, Gos. ae'rokosmicheskij un-t «XAI», *Biznes Inform*, 2000, 260 p.
- Demidovich B. P., Maron I. A. Osnovy' vy'chislitel'noj matematiki. Moscow, Nauka, 1986, 664 p.

Melnykova N. I.

MODELING OF EXPERT SYSTEM ASSIGNMENT TREATMENT

Developed models expert system of treatment, that optimize the assignment of treatment and providing efficiency convalescence of patients.

Key words: model of expert system, optimization of the process, medical systems.

SPYSOK LITERATURY

- Chernoruczkij I. G. Metody' prinyatiya reshenij. St. Peterburg, BXV-Peterburg, 2005, 416 p.
- Hlushkov V. M. Entsyklopediia kibernetiky. Kiev, Holov. red. Ukr. rad. entsyklopedii, 1973, 584, [12] p.
- Shynkaruka V. I. Filosofskiy slovnyk. Kiev, Holov. Red. URE, 1986, 476 p.
- Savel'ev A. Ya. Prikladnaya teoriya cifrov'y'x avtomatov: ucheb. [dlya vuzov po specz. E'VM]. Moscow, Vy'sshaya shkola, 1987, 272 p.
- Samofalov K. G., Romankevich A. M., Valujskij V. N. Prikladnaya teoriya cifrov'y'x avtomatov. Kiev, Vyshcha shkola, Holovne vydavnytstvo, 1987, 375 p.
- Majorov S. A., Novikov G. I., Struktura e'lektronny'x vy'chislitel'ny'x mashin. Lvov, Mashinostroenie. Leningradskoe otdelenie, 1979, 384 p.
- Kagan B. M. E'lektronny'e vy'chislitel'ny'e mashiny' i sistemy': ucheb. posobie [dlya vuzov]. Moscow, E'nergoatomizdat, 1991, 592 p.
- Samofalov K. G., Kornejchuk V. I., Tarasenko V. P. Cifrov'y'e E'VM: teoriya i proektirovanie. Kiev, Vyshcha shkola, Holovne vydavnytstvo, 1989, 424 p.
- Savel'ev A. Ya. Arifmeticheskie i logicheskie osnovy' cifrov'y'x avtomatov. Moscow, Vy'sshaya shkola, 1999, 255 p.
- Savel'ev A. Ya. Prikladnaya teoriya cifrov'y'x avtomatov. Moscow, Vy'sshaya shkola, 2007, 272 p.
- Vavilov E. N., Portnoj G. P. Sintez sxem e'lektronny'x cifrov'y'x mashin. Moscow, Sovetskoe radio, 2003, 440 p.
- Solov'ev G. N. Arifmeticheskie ustrojstva E'VM. Moscow, E'nergiya, 1978, 177 p.

MODELLING THE STAMP PROBLEM IN TWO-DIMENSIONAL FORMULATION

In this paper we construct a solution of the two-dimensional elasticity problem (plane deformation) about stamp action on an elastic half-plane by using the symbolic method of Vlasov V. Z. [1] and the exact solution of the harmonic equation for the half-plane. The substitution of symbolic functions to appropriate harmonic functions allows us to get the exact solution of this problem.

Key words: symbolic method, stamp, half-plane, harmonic equation, symbolic function, harmonic function, exact solution.

SPISOK LITERATURY

1. Vlasov V. Z., Leont'ev N. N. Balki, plity' i obolochki na uprugom osnovanii. Moscow, Fizmatgiz, 1960, 491 p.
2. Polyanin A. D. Spravochnik po linejny'm uravneniyam matematicheskoy fiziki. Moscow, Fizmatlit, 2001, 576 p.
3. Zel'dovich Ya. B., My'shkis A. D. E'lementy' prikladnoj matematiki. Moscow, Nauka, 1967, 648 p.
4. Tolok V. A., Shapar V. V. Operatorno-simvol'ny'e ryady' Vlasova V. Z. v reshenii zadach teorii uprugosti v sisteme Maple, *Hidroakustychnyi zhurnal*, 2006, No. 3, pp. 66–74.
5. Ovs kij A. G., Galan E. E., Tolok V. A. Ispol'zovanie sistemy' Maple pri realizacii metoda nachal'ny'x funkcij Vlasova, *Visnyk Zaporizkoho natsionalnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh statei. Fyzyko-matematychni nauky*, 2008, No. 1, pp. 16–26.
6. Ovs kij A. G., Tolok V. O. Modelirovanie sxemy' resheniya trexmernoj zadachi teorii uprugosti v sisteme Maple, *Hidroakustychnyi zhurnal*, 2008, No. 3, pp. 88–97.
7. Gorshkov A. G., Starovojtov E'. I., Tarlakovskij D. V. Teoriya uprugosti i plastichnosti. Moscow, Fizmatlit, 2002, 416 p.

Chaplanova E.

OPERATING SPECIFICATIONS OF THE OBJECT-RELATIONAL DATA MODEL

The article proposed the development of general principles of formation of the operating specifications of object-relational data model. Formally defined the basic operations, and defined basis of the operating specifications of object-relational data model. It is proposed to use the apparatus of the relational algebra with a recursive component to perform operations on relations, which contain nested non-atomic attributes.

Key words: object-relational data model, nested attributes recursive relational algebra, the operating specification.

SPISOK LITERATURY

1. Makinouchi A. A consideration on Normal Form of Not-Necessarily-Normalized Relations in the Relational Data Model. *Proc. of the 3rd International Conference on Very Large Data Bases*, Tokyo, 1977, pp. 447–453.
2. Garani G. Generalized Relation Data Model, *International Journal of Computer Systems Science and Engineering (IJCSSES)*, 2007, Vol. 4, No. 1, pp. 43–59.
3. Mejer D. Teoriya relyacionny'x baz danny'x. Moscow, Mir, 1987, pp. 45–48.
4. Tiori T., Fraj Dzh. Proektirovanie struktur baz danny'x: v 2-x kn. Moscow, Mir, 1985, Vol. 1, p. 287 : Vol. 2, p. 320.
5. Chaplanova E. B., Kasatkina N. V., Tanyanskij S. S. Ob odnom podxode k postroeniyu ob''ektno-relyacionnoj modeli danny'x, *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, Kiyiv, VIKNU, 2009, No. 20, pp. 141–146.

DISCRETE ANALOGUE OF THE POISSON INTEGRAL FOR A BALL

The Dirichlet problem for the ball with discretely given conditions on the boundary is solved in the work. Construction from hexahedron and octahedron inscribed in a ball is used in the role of computational template. A discrete analogue of the Poisson integral formula in the form of a proportional stratified sampling is obtained.

Key words: Dirichlet problem, ball, Poisson integral, pattern, hexahedron, octahedron.

SPISOK LITERATURY

1. Farlou S. Uravneniya s chastny'mi proizvodny'mi dlya nauchny'x rabotnikov i inzhenerov. Moscow, Mir, 1985, 384 p.
2. Levin V. I. Metody' matematicheskoy fiziki. Moscow, Uchpedgiz, 1956, 243 p.
3. Xomchenko A. N., Nadzhafov M. T., Val'ko N. V. Dve modeli usredneniya granichny'x potencialov na adaptiruемом shablone, *Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання*, 2004, No. 8, pp. 26–30.
4. Kozub N. A., Xomchenko A. N. Ot ravnomernogo raspredeleniya sluchajny'x toček k bazisu trilinejnoj interpolyacii, *Vestnik Xersonskogo nacional'nogo texnicheskogo universiteta*, 2006, No. 1 (24), pp. 99–102.
5. Xomchenko A. N., Motajlo A. P. Baricentricheskaya zadacha Mebiusa i odnoshagovy'e bluzhdaniya so sluchajny'm startom, *Vestnik Xersonskogo nacional'nogo texnicheskogo universiteta*, 2011, No. 2 (41), pp. 23–26.
6. Xomchenko A. N., Motajlo A. P. Veroyatnostnaya koncepciya polinomial'noj interpolyacii v oktae'dre. *Problemy matematychnoho modeliuвання: mizhderzh. nauk.-metod. konf., 25–27 travnia 2011 r.: tezy dop*, Dniprodzerzhynsk, 2011, pp. 20–22.
7. Novozhilov V. V. Voprosy' mexaniki sploshnoj sredy'. L., Sudostroenie, 1989, 400 p.
8. Motajlo A. P. Bazisy' shestiuuzlovogo oktae'dra. *Perspektivny'e nauchny'e issledovaniya – 2011: mezhdunar. nauch.-praktich. konf., 17–25 fevr. 2011, tezis'y dokl*, Sofiya, Bolgariya, 2011, Access mode: <http://www.rusnauka.com>.

Vysochyna O. S., Danich V. N., Parkhomenko V. P.

MANUFACTURING PROCESSES MODELING OF INDUSTRIAL ENTERPRISES BY MEANS OF ARENA SYSTEM SIMULATION

The article presents a manufacturing processes simulation model of industrial car valves production enterprises. A description of the model building and simulation results were considered.

Key words: Arena, discrete-event approach, simulation modelling, simulation of manufacturing systems.

SPISOK LITERATURY

1. Danich V. N. Modelirovanie by'stry'x i lavinoobrazny'x processov. Lugansk, VNU, 2010, No. 3 (145), pp. 86–101.
2. Mezhdunarodnoe obshchestvo sistemnoj dinamiki = System Dynamics Society : predstavlyaet soboj professional'nyu asociaciyu specialistov v oblasti sistemnoj dinamiki – professorov VUZov, praktikov-konsul'tantov i prepodavatelej so vsego mira [199-?]. – Access mode: <http://www.systemdynamics.org>.
3. Digris A. V. Diskretno-soby'tijnoe modelirovanie. Minsk, BGU, 2011, 201 p.
4. Vy'sochina O. S., Danich V. N., Demin M. K. Sravnitel'ny'j analiz sistem imitacionnogo modelirovaniya dlya resheniya zadachi optimizacii proizvodstvenny'x processov promy'shlennogo predpriyatiya, *Vestnik Vostochnoukr. nacion. un-ta im. V. Dal'ya*, 2012, No. 8 (179), Vol. 1, pp. 47–51.
5. Lou Averill M., Kel'ton De'vid V. Imitacionnoe modelirovanie. Saint Petersburg, Piter, 2004, 848 p.

NEUROINFORMATICS AND INTELLIGENT SYSTEMS

Deineko A. A., Pliss I. P., Bodyanskiy Ye.

EVOLVING NEURO-FUZZY SYSTEM COMBINED LEARNING

In this work the evolving neuro-fuzzy system with kernel activation function that contains fuzzy support vector machine, normalized radial basis function neural network and general regression neuro-fuzzy network as subsystems is proposed. This network is tuned using both optimization and memory based approaches and does not inclined to the «curse of dimensionality», is able to real time mode information processing by Deineko A. A., Pliss I. P., Bodyanskiy Ye.

Key words: evolving neuro-fuzzy system, normalized radial-basis function neural network, general regression neuro-fuzzy network, fuzzy support vector machine, kernel activation function.

SPYSOK LITERATURY

- Osovskij S. Nejrorny'e seti dlya obrabotki informacii. Moscow, Finansy' i statistika, 2002, 344 p.
- Rutkowski L. Computational Intelligence. Methods and Tehniques. Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 2008, 514 p.
- Nelles O. Nonlinear System Identification. Berlin, Springer, 2001, 785 p.
- Friedman J., Hastie T., Tibshirani R. The Elements of Statistical Learning. Data Mining, Inference and Prediction. Berlin, Springer, 2003, 552 p.
- Zahirniak D., Chapman R., Rogers S. [and other] Pattern recognition using radial basis function network. *Dayton, OH: Application of AI Conf*, 1990, pp. 249–260.
- Specht D. F. A general regression neural network, *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1991, Vol. 2, pp. 568–576.
- Kasabov N. Evolving Connectionist Systems. London, Springer, Verlag, 2003, 307 p.
- Bodyanskiy Ye., Teslenko N., Grimm P. Hibrid evolving neural network using kernel activation functions. *Conf. Proc. 17th Zittau East-West Fuzzy Coll*, Zittau Goerlitz, HS, 2010, pp. 39–46.
- Bodianskiy Ye. V., Deineko A. O., Teslenko N. O. Evoliutsiina neironna merezha z yadernymy funktsiiamy aktyvatsii ta adaptivnyi alhorytm yii navchannia, *Naukovi pratsi*, Vol. 143, No. 130, Kompiuterni tekhnolohii, Mykolaiv, Vyd-vo ChDU im. Petra Mohyly, 2010, pp. 71–78.
- Jang J.-S., Sun C.-T., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Maching Intelligence. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1997, 640 p.
- Wang L.-X., Mendel J. M. Fuzzy basis functions, universal approximation and orthogonal least squares learning, *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1993, Vol. 3, pp. 807–814.
- Cios K. J., Pedrycz W. Neuro-fuzzy algorithms. Oxford, IOP Publishing Ltd and Oxford University Press, Handbook of Neural Computation, 1997, D1. 3:1 – D1. 3:7.
- Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 1985, Vol. 15, pp. 116–132.
- Wang L.-X. Adaptive Fuzzy Systems and Control. Design and Stability Analysis. Upper Saddle, N. J., Prentice Hall, 1994, 256 p.
- Bodyanskiy Ye., Teslenko N. Generalized regression neuro-fuzzy network. *Proc. XIII-th Int. Conf. «Information Reaserch & Application»*, i. *TECH 2007*, V. 1, Varna, 2007, pp. 219–225.
- Bodyanskiy Ye., Otto P., Pliss I, Teslenko N. Nonliner process identification and modeling using general regression neuro-fuzzy network. *Proc. 52 nd Int. Sci. Coll. «Computer Science Meets Automation.»*, TU Ilmenau (Thuer.), 2007, pp. 23–27.
- Bodyanskiy Ye., Teslenko N. General regression neuro-fuzzy network for identification of nonstationary plants. *Int. J. Informaion Technologies and Knowledge*, 2008, Vol. 2, No. 2, pp. 136–142.
- Bishop C. M. Neural Networks for Pattern Recognition. Oxford, Clarendon Press, 1995, 482 p.
- Vapnik V. N. The Nature of Statistical Learning Theory. N.Y., Springer, 1995, 188 p.
- Vapnik V. N. Statistical Learning Theory: Adaptive and Learning Systems. N. Y., John Wiley & Sons, 1998, 736 p.
- Suykens J.A.K., Gestel T.V., Brabanter J.D. [and other] Least Squares Support Vector Machines. Singapore, World Scientific, 2002, 294 p.
- Lin Ch.-F. Wang Sh.-D. Fuzzy Support Vector Machines, *IEEE Trans. on Neural Networks*, 2002, Vol. 13, No. 2, pp. 646–471.
- Tsujinishi D., Abe S. Fuzzy Least Squares Support Vector Machines for multiclass problems, *Neural Networks*, 2003, Vol. 16, pp. 785–792.
- Hansen L. K., Salamon P. Neural networks ensembles, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990, Vol. 12, pp. 993–1000.
- Sharkey A. J. C. On combining artificial neural nets/Connect. *Sci*, 1996, Vol. 8, pp. 299–313.
- Hashem S. Optimal linear combination of neural networks, *Neural Networks*, 1997, Vol. 10, pp. 599–614.
- Naftaly U., Intrator N., Horn D. Optimal ensemble averaging of neural networks, *Network: Comput. Neural Syst*, 1997, Vol. 8, pp. 283–296.

28. Bodianskiy Ye. V., Mykhalov O. I., Pliss I. P. Adaptivne vyavleniia rozladnan v ob'ekтах керування за допомогою shtuchnykh neironnykh merezh. Dnipropetrovsk, Systemni tekhnolohii, 2000, 140 p.
29. Polyak B. T. Vvedenie v optimizatsiyu. Moscow, Mir, 1984, 541 p.
30. Bodyanskiy E. V., Pliss I. P., Solov'eva T. V Adaptivnoe obobshhennoe prognozirovanie mnogomerny'x sluchajny'x posledovatel'nostej. Doklady' AN USSR, 1989, A, No. 9, pp. 73–75.

Romanuke V. V.

OPTIMAL STRATEGIES CONTINUUM FOR PROJECTING THE FOUR-MOUNT CONSTRUCTION UNDER INTERVAL UNCERTAINTIES WITH INCORRECTLY PRE-EVALUATED TWO LEFT AND ONE RIGHT ENDPOINTS

There is investigated a two-person game model of optimizing cross-section squares of the four-mount construction, where the model kernel is defined on the six-dimensional hyperparallelepiped as the product of three closed intervals of unit-normed loads and of three closed intervals of unit-normed cross-section squares. For the case of incorrectly pre-evaluated two left and one right endpoints of those interval uncertainties there has been proved that the projector may obtain an optimal strategies continuum. A criterion for singularizing that continuum has been proposed.

Key words: optimizing cross-section squares, two-person game model, four-mount construction, incorrect pre-evaluation.

REFERENCES

1. Darkov A. V., Shaposhnikov N. N. Stroitel'naya mexanika: [uchebnik dlya stroit. specz. vuzov]. Moscow, Vy'ssh. shk., 1986, 607 p.
2. Kiselev V. A. Stroitel'naya mexanika: Specz. kurs. Dinamika i ustojchivost' sooruzhenij: [uchebnik dlya vuzov]. Moscow, Strojizdat, 1980, 616 p.
3. Vorob'ev N. N. Teoriya igr dlya e'konomistov-kibernetikov. Moscow, Nauka, Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury', 1985, 272 p.
4. Romaniuk V. V. Modeliuvannia dii normovanoho odynychnoho navantazhennia na try kolony odnakovoi vysoty u budivel'ni konstruktsii i znakhodzheniia optymalnoi ploskhi kozhnoi opory, *Problemy trybolohii*, 2010, No. 3, pp. 18–25.
5. Truxaev R. I. Modeli prinyatiya reshenij v usloviyax neopredelennosti. Moscow, Nauka, 1981, 258 p.
6. Chernoruczkij I. G. Metody' prinyatiya reshenij. St. Peterburg, BXV–Peterburg, 2005, 416 p.
7. Romaniuk V. V. Rehuliarna optymalna stratehiia proektuvannya u modeli dii normovanoho odynychnoho navantazhennia na N -kolonnu budivelnu konstruktsiiu-oporu, *Problemy trybolohii*, 2011, No. 2, pp. 111–114.
8. Petrosyan L. A., Zenkevich N. A., Semina E. A. Teoriya igr: [ucheb. posobie dlya un–tov]. Moscow, Vy'sshaya shkola, Knizhny'j dom «Universitet», 1998, 304 p.
9. Romaniuk V. V. Pro osobylyvi komponenty optymalnoi stratehii proektuvannya u modeli dii normovanoho odynychnoho navantazhennia na trykolonnu budivelnu konstruktsiiu, *Problemy trybolohii*, 2011, No. 1, pp. 44–46.

Subbotin S. A.

CONSTRUCTED FEATURES FOR AUTOMATIC CLASSIFICATION OF STATIONARY TIMING SIGNALS

The challenge for automation to reduce the dimension of the data has been solved for the construction of diagnostic and recognizing patterns, based on steady-state one-dimensional signals, distributed in time. The set of indicators characterizing the properties of the signals, which allows to reduce the description of the classified objects is firstly proposed. The experiments on studying of the proposed indicator set at practical problem solving s are conducted.

Key words: pattern recognition, technical diagnosis, feature, stationary signal, feature extraction.

SPISOK LITERATURY'

1. Subbotin S. O., Oliinyk A. O., Oliinyk O. O. Neiteratyvni, evoliutsiini ta multyahentni metody syntezy nechitkolohichnykh i neiromerezhnykh modelei: monohrafiya. Zaporizhzhia, ZNTU, 2009, 375 p.
2. Boguslaev A. V., Olejnik Al. A., Olejnik An. A., Pavlenko D. V., Subbotin S. A. Progressivny'e tekhnologii modelirovaniya, optimizatsii i intellektual'noj avtomatizatsii e'tapov zhiznennogo cikla aviacionny'x dvigatelej: monografiya. Zaporozh'e, OAO «Motor-Sich», 2009, 468 p.

3. Oliinyk A. O., Subbotin S. O., Oliinyk O. O. Evoliutsiini obchyslennia ta prohramuvannia: navchalnyi posibnyk. Zaporizhzhia, ZNTU, 2010, 324 p.
4. Dash M., Liu H. Feature selection for classification, *Intelligent data analysis*, 1997, No. 1, pp. 131–156.
5. Hyvarinen A., Karhunen J., Oja E. Independent component analysis. New York, John Wiley & Sons, 2001, 481 p.
6. Lee J. A., Verleysen M. Nonlinear dimensionality reduction. New York, Springer, 2007, 308 p.
7. Jiang Y., Zhang R., Liu G. [et al.] Multifactor dimensionality reduction for detecting haplotype-haplotype interaction. *Fuzzy systems and knowledge discovery: sixth international conference, 14–16 August 2009, Tianjin: proceedings*, Los Alamitos, IEEE, 2009, pp. 241–245.
8. Oppengejm A., Shafer R. Cifrovaya obrabotka signalov. Moscow, Texnosfera, 2007, 856 p.
9. Mallat S. A wavelet tour of signal processing: the sparse way. Waltham, Academic Press, 2008, 832 p.
10. For A. Vospriyatie i raspoznavanie obrazov. Ed. by G. P. Katy'sa. Moscow, Mashinostroenie, 1989, 271 p.
11. Forsyth D., Ponce J. Computer vision: a modern approach. New Jersey, Prentice Hall, 2002, 693 p.
12. Subbotin S. A. The training set quality measures for neural network learning. *Optical Memory and Neural Networks (Information Optics)*, 2010, Vol. 19, No. 2, pp. 126–139.
13. Dubrovin V., Subbotin S., Morshchavka S., Piza D. The plant recognition on remote sensing results by the feed-forward neural networks. *Smart Engineering System Design*, 2001, No. 3, pp. 251–256.
14. Guyon I. Arcene data set. Access mode: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Arcene>.
15. Dubrovin V. I., Subbotin S. A., Boguslaev A. V., Yacenko V. K. Intel'ektual'ny'e sredstva diagnostiki i prognozirovaniya nadezhnosti aviadvigatelej: monografiya. Zaporozh'e, OAO «Motor-Sich», 2003, 279 p.

Tkachenko R., Mashevskaya M.

NEURO-FUZZY SYSTEM FOR AUTOMATION SYNTHESIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR EVALUATING AN INDEX OF LEVEL OF BIOCOMFORT

The process of creating the mathematical model by the neuro-fuzzy modeling is described. The stages of construction of the fuzzy model to evaluating the level of biocomfort of habitation are considered.

Key words: neuro-fuzzy system, compact model, parameters of biocomfort.

SPYSOK LITERATURY

1. Tkachenko R., Mashevskaya M. Intel'ektualizovana systema otsiniuvannia parametriv biokomfortu prymishchennia, *Visnyk Nats. un-tu «Lvivska politekhnika»: Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii*, 2010, No. 710, pp. 133–138.
2. Tkachenko O., Tkachenko R., Hirniak Yu., Ivakhiv O., Mushenyk P. Rule-based fuzzy system of improved accuracy. *Materials of 56th International scientific colloquium (Ilmenau University of Technology, 12–16 September 2011), Ilmenau, TU Ilmenau, 2011, 25 p.*
3. Tkachenko R. Nova paradyhma shtuchnykh neironnykh merezh priamoho poshyrennia, *Visnyk Nats. un-tu «Lvivska politekhnika»: Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii*, 1999, No. 386, pp. 43–54.
4. Beijer Dzh. Grejvs-Morris P., transl. by Raxmanova E. A., Suetina S. P., ed by. Gonchar A. A. Moscow, Mir, 1986, 502 p.
5. Tkachenko R. O., Mashevskaya M. V. Elementy arkhitektury dlia intel'ektualnoi systemy pobudovy matematychnoi modeli prohnozuvannia rivnia teplovoho komfortu, *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy: zbirnyk naukovy-tekhnichnykh prats*, Lviv, RVV NLTU Ukrainy, 2011, No. 21.10, pp. 284–290.

PROGRESSIV INFORMATICS TECHNOLOGIES

Vershina A. I., Kirichek G. G.

MODEL SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT FOR LEARNING

Investigated the influence of different variants of interdependent disciplines to the process of acquiring knowledge for future use, the resulting figures in the system of information support of learning.

Key words: information system, discipline, learning process, probability, information resource.

SPISOK LITERATURY'

1. Maksimovich G. I. E'lektronny'e biblioteki, *Deloproizvodstvo*, 2001, No. 1, pp. 85–89.
2. Zghurovskiy M. Z., Pankratova N. D. Osnovy systemnoho analizu: pidruch. dlia stud. vyshch. navch. zakl. Kyiv, Vydavnycha hrupa VNU, 2007, 543 p.

- Bykov V. Yu. Modeli orhanizatsiinykh system vidkrytoi osvity = Models of the Education Organizational Systems: monohrafiia. Kyiv, Atika, 2009, 682 p.
- Barkova O. V. Dosvid stvorennia naukovoï elektronnoi biblioteki v Natsionalnii bibliotetsi Ukrainy imeni V. I. Vernadskoho, *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh*, 2001, Vol. 3, No. 4, pp. 51–62.
- Antopol'skij A. B., Majstrovich T. V., Chugunov A. V. Formirovanie Nacional'noj e'lektronnoj biblioteki i problemy vy'bora bazovy'x principov organizacii fonda e'lektronny'x dokumentov. Nacional'naya e'lektronnaya biblioteka: Proekty' metodicheskikh materialov po formirovaniyu fonda / Rossijskaya gosudarstvennaya biblioteka, St. Peterburg, 2004, pp. 3–13.
- Kyrychek H. H. Keruvannia informatsiinykh potokamy na vsikh rivniakh iierarkhii otrymannia znan, *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, 2010, No. 1, pp.70–78.

Kulik A. S., Luchenko O. O., Firsov S. N.

ALGORITHMIC SOFTWARE OF DIAGNOSE AND SERVICEABILITY OF ATTITUDE AND STABILIZATION SATELLITE SYSTEM RESTORATION MODULES

Unified description of the processes in the model blocks and the satellite system as a process of development of abnormal situations and process of it's parry is presented. In addition, four-level scheme of parameterization of the direct criterion of failure is offered. Models and tools of satellite systems serviceability restoration are presented.

Key words: attitude and stabilization satellite system, redundancy, sensors.

SPISOK LITERATURY'

- Baty'rev A. I., Baty'rev B. I., Bandarecz G. K. E'ksperimental'naya otrabotka sistem upravleniya ob'ektov raketno-kosmicheskoy tekhniki: ucheb. posobie. Ed. by Yu. M. Zlatkin, V. S. Krivczov, A. S. Kulik, V. I. Chumachenko. Kharkov, Nacz. ae'rokosm. un-t «Xar'k. aviacz. In-t», NPP «Xarton-Arkos», 2008, 501 p.
- Brovkin A. G., Burdy'chov B. G., Gordijko S. V. Bortovy'e sistemy' upravleniya kosmicheskimi apparatami: Uchebny'e posobiya. Ed. by A. S. Sy'rov. Moscow, MAI S. V-PRINT, 2010, 340 p.
- Kulik A. S., Luchenko O. A., Firsov S. N. Koncepciya obespecheniya zhivuchesti sputnikov'x sistem upravleniya orientaciej i stabilizaciej, *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, 2011, No. 2 (25), pp. 41–47.
- Kulik A. S., Luchenko O. A., Gavrilenco O. I. Soderzhanie zadach po obespecheniyu otkazoustojchivosti, reshaemy'x v processe razrabotki sistemy' upravleniya uglovy'm dvizheniem kosmicheskogo letatel'nogo apparata, *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, 2005, No. 1 (13), pp.154–161.
- Kulik A. S. Signal'no-parametricheskoe diagnostirovanie sistem upravleniya. Kharkov, Gos. ae'rokosmicheskij un-t «XAI»; Biznes Inform, 2000. – 260 p.

Levykin V. M., Kostenko O. P., Petrichenko O. V.

METHOD DEVELOPMENT FOR SYSTEM DEMANDS ASSESSMENT TO THE DECISION OF MARKETING TASKS FOR INFORMATION SYSTEMS PROJECTING

In this work the method of estimation of system requirements to the decision of marketing tasks are developed for planning of the marketings informative systems.

Key words: marketing informative system, informative space, system requirements, metaphoric multidimensional information meta-space.

SPYSOK LITERATURY

- Ward J. Strategic planning for information systems. Wiley, 1997, 586 pp.
- Neumoin, V. Software Requirements Traceability in Reengineering Perspective, *Problemy' programmirovaniya*, 2002, No. 1–2, pp. 91–97.
- Baxmann P. Programmy'e sistemy'. Moscow, Finansy' i Statistika, 1981, 287 p.
- Levykin V. M., Kostenko O. P. Rozrobka prostorovotraiektornoho pidkhodu dlia proektuvannia marketynhovykh informatsiinykh system . *Soma dystantsiina naukovopraktychna konferentsiia za mizhnarodnoiu uchastiu «systemy pidtrymky pryiniattia rishen. Teoriia i praktyka. SPPR-2011»*. Cherven, 2011 r., Ukraina, m. Kyiv, pp. 50–53.
- Bryabrin V. M. F-yazy'k: formalizm dlya predstavleniya znanij v intellektual'noj dialogovoj sisteme, *Prikladnaya informatika. Sb. statej*, Moscow, Finansy' i statistika, 1981, pp. 73–103.
- Kreg L. Primenenie UML i shablonov proektirovaniya. Moscow, Vil'yams, 2001, 396 p.
- Zade L. A. Ponyatie lingvisticheskoy peremnoij i ego primenenie k prinyatiyu priblizheny'x reshenij. Moscow, Mir, 1976, 363 p.

8. Borisov A. N., Alekseev A. V., Krumberg O. A. i dr. Modeli prinyatiya reshenij na osnove lingvisticheskoj peremennoj. Riga, 1982, 256 p.
9. Leonenkov A. V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. St. Peterburg, BXV-Peterburg, 2003, 719 p.
10. Anderson Dzhordzh V., Anderson D. V., Larokka D., ed. by B. M. Kotsovskii, SAP za 24 hodyny: per. z anhl. Dnipropetrovsk, Balans Biznes Buks, 2007, 432 p.

Rizun N. O., Taranenko Y. K.

MOBILE SYSTEM OF COMPUTER TESTING AS THE INSTRUMENT OF INTENSIFICATION OF STUDY PROCESS IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Mobile system of computer testing, which allows intensifying study process because of ensuring of mobility, economy and confidentiality of testing control by means of using the technology of a short-term session of wireless connection with the server, which is located in the Internet and contains the base of test tasks and means of testing results identification, is suggested.

Key words: mobile system, study process, testing session, wireless connection.

SPYSOK LITERATURY

1. Zgurovskij M. Z. Obshhestvo znanij i informacii – tendencii, vy'zovy', perspektivy', *Zerkalo nedeli*, 2003, No. 19 (444), May, 24.
2. Tsidelko V. D., Jaremchuk N. A., Shvedova V. V. Avtomatyzovana systema testuvannia, navchannia ta monitorynhu: patent na korysnu model №43616U. Ukraina: MPK G09B 7/00, Zaiavnyk ta patentovlasnyk: Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut», No. u200902620, zaiavl. 23.03.2009, opubl. 25.08.2009, biul. № 16, 2009.
3. Andrushchenko V. P., Kudin A. P., Zhabeev G. V., Padalka M. P. Kompleks zasobiv dlia zabezpechennia interaktyvnoho navchalnoho procesu: patent na korysnu model №33619U. Ukraina: MPK G09B 5/00, Zaiavnyk ta patentovlasnyk: Natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni M. P. Drahomanova, zaiavl. 12.12.2007; opubl. 25.06.2008, biul. № 23, 2008.
4. Nazarenko A. P., Parshyn H. N., Safronova L. I., Stanevskiy A. H., Patentoobladatel: Nazarenko A. P., Parshyn H. N., Safronova L. I., Stanevskiy A. H. Mobilna kompiuterna systema navchannia: patent na korysnu model № 77 991 U1. Rossiya: G09B 5/00, G09B 21/06 / № 2007102241/22, zaiavl. 23.01.2007, opubl. 0.11.2008, biul. № 31, 2008.
5. Kalugyan K. X., Shherbakov S. M. Komp'yuternaya sistema testirovaniya znanij kak komponent informacionnoj nauchno-obrazovatel'noj sredey' VUZa, *Vestnik Akademii*, 2005, No. 1 (20), pp. 61–66.
6. Markus L. I., Taly'gin A. K. Universal'ny'e programmy' testovogo kontrolya znanij v VUZe. *Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority' razvitiya i podgotovka kadrov: Materialy' Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii Assotsiatsii avtomobil'ny'x inzhenerov (AAI), posvyashhennoj 145-letiyu, MGTU «MAMI»*, Vol. 12, Moscow, MGTU «MAMI», 2010, pp. 136–143.

Hahanov V. I., Chumachenko S. V., Litvinova E. I., Guz O. A.

DIAGNOSIS INFRASTRUCTURE FOR SOFTWARE-HARDWARE SYSTEMS

An infrastructure and technologies for analyzing cyberspace are proposed. A transactional graph model and method for diagnosing digital systems-on-chips, focused to considerable reducing the time of fault detection and memory for storing the diagnosis matrix by forming ternary relations in the form of test, monitor, functional component, are created.

Key words: infrastructure, information analysis, diagnosis, graph model, digital system-on-chip.

SPISOK LITERATURY'

1. Osnovy' tekhnicheskoy diagnostiki. Ed. by P. P. Parxomenko. Moscow, E'nergiya, 1976, 460 p.
2. Osnovy' tekhnicheskoy diagnostiki (Optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturny'e sredstva). Ed. by P. P. Parxomenko. Moscow, E'nergiya, 1981, 320 p.
3. Bondarenko M. F., Guz' O. A., Xaxanov V. I., Shabanov-Kushnarenko Yu. P. Infrastruktura mozgopodobny'x vy'chislitel'ny'x processov. Kharkov, Novoe Slovo, 2010, 160 p.
4. Xaxanov V. I., Xaxanova I. V., Litvinova E. I., Guz' O. A. Proektirovanie i verifikatsiya cifrovyy'x sistem na kristallax. Kharkov, Novoe slovo, 2010, 528 p.
5. Semenez V. V., Xaxanova I. V., Xaxanov V. I. Proektirovanie cifrovyy'x sistem s ispol'zovaniem yazy'ka VHDL. Kharkov, XNURE', 2003, 492 p.

6. Xaxanov V. I., Xaxanova I. V. VHDL+Verilog = sintez za minuty'. Kharkov, XNURE', 2006, 264 p.
7. IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan: Architecture IEEE Std 1149.7, 2009, 985 p.
8. Da Silva F., McLaurin T., Waayers T. The Core Test Wrapper Handbook. Rationale and Application of IEEE Std. 1500™. Springer, 2006, XXIX, 276 p.
9. Marinissen E. J., Yervant Zorian Guest Editors' Introduction: The Status of IEEE Std 1500. IEEE Design & Test of Computers, 2009, No. 26 (1), pp. 6–7.
10. Benso A., Di Carlo S., Prinetto P., Zorian Y. IEEE Standard 1500 Compliance Verification for Embedded Cores. *IEEE Trans. VLSI*, 2008, No. 16 (4), pp. 397–407.
11. Xaxanov V. I., Litvinova E. I., Chumachenko S. V., Guz' O. A. Logicheskij asociativny'j vy'chislitel', *E'lektronnoe modelirovanie*, No. 1, 2011, pp. 73–83.

TEORY AND METHODS CONTROL OF AUTOMATIC CONTROL

Alexandrova T. Ye.

PARAMETRIC SYNTHESIS OF ROBUST OPTIMAL STABILIZERS OF MOVING OBJECTS

The problem of optimal synthesis for the accuracy of the stabilizer of a moving object with the requirement of robustness of the closed-loop system stability to changes in design parameter of the object.

Key words: robust system, the sensitivity function, the integral quadratic functional, the weights.

SPISOK LITERATURY'

1. Rozenvasser E. N., Yusupov R. M. Chuvstvitel'nost' sistem avtomaticheskogo upravleniya. *Envyasser, L., E'nergiya*, 1971, 292 p.
2. Tomovich R., Vukobratovich M. Obshhaya teoriya chuvstvitel'nosti. Moscow, Sov. Radio, 1972, 240 p.
3. Aleksandrov E. E., Bex M. V. Avtomatizirovannoe proektirovanie dinamicheskix sistem s pomoshh'yu funkciy Lyapunova. Kharkov, Osnova, 1993, 113 p.
4. Aleksandrov E. E., Aleksandrova T. E., Kostyanik I. V. Sintez robastnogo stabilizatora dlya pozicionnogo e'lektroprivoda, *Texnichna elektrodinamika. Special'nij vipusk «Silova elektronika ta energoefektivnist'»*, 2010, Part 1, pp. 178–181.
5. Ximmel'blau D. Prikladnoe nelinejnoe programirovanie. Moscow, Mir, 1975, 534 p.

Lozynsky A. O., Demkiv L. I.

SYNTHESIS OF MULTICRITERIA OPTIMAL CONTROL WITH VARIABLE WEIGHTS

In paper the dynamical systems with Takagi-Sugeno fuzzy controller are considered. A new approach to constructing functional for multicriteria optimization is suggested, which, unlike traditional, allows the change of weight multipliers of integral quality criteria in time.

Key words: fuzzy logic, membership function, functional of quality, multicriteria optimization.

SPYSOK LITERATURY

1. Kolesnikov A. A. Sinergeticheskaya teoriya upravleniya. Moscow, E'nergoatomizdat, 1994, 344 p.
2. Krasnoshhechenko V. I., Grishhenko A. P. Nelinejny'e sistemy': geometricheskij metod analiza i sinteza. Moscow, Izd-vo MGTU im. N. E'. Bauman, 2005, 520 p.
3. Lozynskiy A. O. Doslidzhennia stiiikosti sistem z rehuliatorom Takahi-Suheno-Kanhi, *Visnyk NTU «KhPI» «Problemy avtomatizirovannogo ehlektroprovoda»*, 2008, Vol. 30, pp. 89–90.
4. Lozynskiy A. O., Demkiv I. Analiz stiiikosti sistem z rehuliatorom Takahi-Suheno. *IPShI MON i NAN Ukrainy «Nauka i osvita»*, 2008, Vol. 4, pp. 545–549.
5. Marushchak Ya. Yu. Vykorystannia standartnykh form rozpodilu koreniv pry syntezi elektromekhanichnykh sistem metodom parametrychnoi optymizatsii, *Visnyk Kharkivskoho Natsionalnogo politekhnichnogo universytetu. Problemy avtomatyzovanoho elektropryvodu. Teoriia i praktyka*, 2001, No. 10, pp. 88–90.
6. Fel'dbaum A. A. Osnovy' teorii optimal'ny'x avtomaticheskix sistem. Moscow, Nauka, 1966, 624 p.
7. Huang H. Z. Fuzzy multi-objective optimization decision-making of reliability of series system, *Microelectronics Reliability*, 1997, Vol. 3, No. 37, pp. 447–449.
8. Isidori A. Nonlinear control systems. Springer-Verlag, 1995, 550 p.

9. Loetamonphong J., Fang S. C., Young R.E. Multi-objective optimization problems with fuzzy relation equation constrains, *Fuzzy Sets and Systems*, 2002, No. 127, pp. 141–164.
10. Mitsuishi T., Shidama Y. Minimization of Quadratic Performance Function in T-S Fuzzy Model. FUZZ-IEEE'02. *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2002, pp. 75–79.
11. Naidu D. S. Optimal control systems. CRC Press, 2002, 433 p.
12. Shih C. J., Chang C. J. Pareto optimization of alternative global criterion method for fuzzy structural design, *Computers and Structures*, 1995, Vol. 54, No. 3, pp. 455–460.
13. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control, *IEEE Trans. on Syst*, 1985, V. SMC-15, No. 1, pp. 116–132.

CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

Busher V. V.

OPTIMAL ASTATIC CONTROL WITH FRACTIONAL ORDER INTEGRAL-DIFFERENTIAL REGULATORS

The research of close-loop systems with fractional integral-differential regulators with order from 0,5 to 2,0 is carried out. Parameters of regulators for optimal dynamic and static control are defined. Presented methods of numeric solve of fractional equation for their micro-processor's realization.

Key words: astatic system, fractional integral, fractional differential.

SPISOK LITERATURY'

1. Busher V. V. Identifikaciya e'lementov klimaticheskix sistem differencial'ny'mi uravneniyami drobnogo poryadka, *Elektromashinobuduvannia ta elektroobladnannia*, Kiiv, «Tekhnika», 2010, No. 75, pp. 68–70.
2. Martinyuk V. V., Busher V. V. Model' superkondensatora s drobno-integriruyushhim e'lementom i metod identifikacii ee parametrov, *Privodnaya texnika*, M, 2011, No. 9–10 (109).

Kozyrev V. G.

MULTI-TIME-SCALE TERMINAL CONTROL OF MOTOR AXIS ANGULAR VELOCITY

Reduced law of terminal control of electric motor shaft speed of rotation utilizing truncated motor dynamics asymptotic approximation and appreciably simplifying control algorithm is proposed. Modeling of the dynamics of the shaft with the proposed control law has shown its effectiveness.

Key words: multi-time-scale system, terminal control, reduced asymptotic of control law.

SPISOK LITERATURY'

1. Vasil'eva A. B., Butuzov V. F. Asimptoticheskie razlozheniya reshenij singulyarno vozmushhenny'x uravnenij. Moscow, Nauka, 1973, 272 p.
2. Yackel R. A., Kokotovic P. V. A boundary layer method for the matrix Riccati equation, *IEEE Trans. on Automatic Control*, 1973, Vol. 18, No. 1, February, pp. 17–24.
3. Kwakernaak H. O., Bosgra H., Meinsma G. Design Methods for Control Systems. Notes for a course of the Dutch Institute of Systems and Control, 2006, 319 p.
4. Kozy'rev V. G. Reducirovanny'j optimal'ny'j regulyator vy'xoda singulyarno vozmushhenny'x system, *Radioelektronika, informatyka, upravlinnia*, 2005, No. 1, pp. 134–139.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Журнал «Радіоелектроніка, інформатика, управління» (PIU) призначений для публікації найбільш значимих наукових і практичних результатів досліджень учених вищих навчальних закладів і наукових організацій.

Журнал включений у перелік наукових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття вчених ступенів доктора і кандидата технічних наук і фізико-математичних наук (радіофізика).

Статті, що опубліковано в журналі, реферуються в реферативних журналах і базах даних ВІНІТІ (Росія) і «Джерело» (Україна). Журнал міститься у міжнародній базі наукових видань Index Copernicus (<http://journals.indexcopernicus.com/index.php>). Інтернет-сторінка журналу:

<http://journal.zntu.edu.ua/ric/index.php?page=index>.

Журнал видається два рази в рік і розповсюджується за Каталогом періодичних видань України (передплатний індекс – 22914).

Для розгляду питання про публікацію статті в редакцію журналу необхідно вислати поштою або представити особисто наступне:

- 1) рукопис (роздруківку) статті, підписаний на останній сторінці всіма авторами, в двох екземплярах;
- 2) відомості про авторів;
- 3) оригінал експертного висновку про можливість відкритого опублікування статті;
- 4) супровідний лист-клопотання з організації, де була виконана робота (або лист автора);
- 5) рецензію від фахівця в даній області з вченим ступенем доктора наук. Підпис рецензента обов'язково мусить бути завірений.
- 6) диск з наступними файлами:
 - електронна версія статті, повністю ідентична роздруківці;
 - відомості про авторів;
 - рисунки у графічному форматі .tif.

Файли з матеріалами статті можна вислати електронною поштою або передати особисто на оптичному диску або USB-накопичувачі.

Вимоги до оформлення статті. Приймаються статті, набрані в редакторі Microsoft Word.

Параметри сторінки:

- розмір паперу – А4 (210x297);
- орієнтація – книжкова;
- шрифт – Times New Roman, розмір – 12 pt;
- міжрядковий інтервал – полуторний;
- верхнє поле – 20 мм, нижнє – 20 мм, ліве – 25 мм, праве – 15 мм.

Сторінки рукопису повинні бути пронумеровані. Не допускаються розбіжності рукопису з електронною версією статті. Текст рукопису не повинен мати рукописних виправлень та позначок.

Послідовність розміщення матеріалу статті:

- 1) індекс УДК;
- 2) прізвища й ініціали авторів, назва статті, анотація й ключові слова українською мовою (для громадян України);
- 3) прізвища й ініціали авторів, назва статті, анотація й ключові слова російською мовою;
- 4) прізвища й ініціали авторів, назва статті, анотація й ключові слова англійською мовою;
- 5) текст статті;
- 6) список літератури.

Текст статті. Приймаються статті російською, українською та англійською мовами. Розмір статті до 0,5 авторського аркуша. У статті слід уникати зайвої деталізації, проміжних формул і висновків; не слід наводити відомі факти, повторювати зміст таблиць і ілюстрацій у тексті. Стаття не повинна мати граматичних або інших помилок, а також повинна відповідати тематиці журналу й вимогам ВАК щодо фахових видань. **Структура** тексту статті мусить містити такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному виді і її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких розпочато розв'язання даної проблеми, і на які опирається автор; виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів, висновки по даному дослідженню й перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Матеріал публікації мусить бути розбитий на підрозділи не більше двох рівнів.

Рисунки розміщуються в тексті й додатково додаються в окремих файлах (формат .tif з роздільною здатністю 150–300 dpi, чорно-білі або у градаціях сірого). Розмір рисунків не повинен перевищувати ширини сторінки (17 см) або ширини колонки (8 см). Написи на рисунках бажано виконувати шрифтом Times New Roman, розмір 10. Рисунки нумерують і підписують униз.

Формули виконуються за допомогою вбудованого в Word редактора Microsoft Equation. Формули нумерують у круглих дужках праворуч. Формули великого розміру записуються в кілька рядків.

Нумерація рисунків, формул і таблиць наскрізна однакова.

Обсяг **анотації** не повинен перевищувати 40 слів.

Ключові слова наводяться в називному відмінку у кількості до десяти слів.

Список літератури наприкінці статті подається мовою оригіналу і складається в порядку згадування посилань у тексті й відповідно до діючого стандарту на бібліографічний опис. Посилання на літературу в тексті нумеруються послідовно й позначаються цифрою у квадратних дужках.

У **відомостях про авторів** необхідно навести:

- 1) прізвище, ім'я, по батькові (повністю);
- 2) учений ступінь;
- 3) посаду;
- 4) місце роботи;
- 5) електронну адресу;
- 6) робочий, домашній, мобільний телефони.

Статті, які не відповідають зазначеним вимогам, не приймаються до розгляду.

Всі статті проходять закрите рецензування і в разі потреби можуть бути повернуті автору на доробку. Редакція залишає за собою право на літературну редакцію тексту статті без повідомлення автору.

Рукописи й диски не вертаються, коректура та відбитки статей авторам не надсилаються.

Адреса редакції: 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, ЗНТУ, редакція журналу «PIU»

Тел.: (061) 7-698-2-96 – редакційно-видавничий відділ
(061) 7-644-6-62 – головний редактор

Факс: (061) 7-642-1-41

E-mail: rvv@zntu.edu.ua

Наукове видання

Радіоелектроніка,

інформатика,

управління

№ 1/2012

Науковий журнал

Головний редактор – д-р техн. наук Піза Д. М.

Заст. головного редактора – канд. техн. наук Дубровін В. І.

Комп'ютерний моделювання та верстання

Зуб С. В.

Оригінал-макет підготовлено у редакційно-видавничому відділі ЗНТУ

Підписано до друку 02.07.2012. Формат 60×84/8.

Папір офс.Різогр. друк. Ум. друк. арк. 20,2.

Тираж 300 прим. Зам. № 947.

69063, м. Запоріжжя, ЗНТУ, друкарня, вул. Жуковського, 64