Доклады БГУИР
2008 *январь–март* № 1 (31)

ЭКОНОМИКА

УДК 519.95; 681.3

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ МНОГОЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В.Г. ЛЕВАШЕНКО[1], И.К. КОЗЛОВА, С.А. ПОТТОСИНА[3]

[1]Жилинский университет
Университетская, 1, Жилина, 01026, Словакия

Белорусский государственный экономический университет
Партизанский пр., 26, Минск, 220070, Беларусь

[3]Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 23 апреля 2007

Рассматривается адаптация аппарата многозначной логики к применению в системах поддержки принятия решений (СППР) об экономическом объекте. Использование этого аппарата позволяет исследовать результаты принятого решения: анализ динамики экономических объектов, исследование их чувствительности к изменениям исходных показателей.

Ключевые слова: принятие решений, направленная логическая производная, структурная функция, чувствительность.

Введение

Структурная функция является одним из способов описания экономического объекта (ЭО). СППР об ЭО предполагает анализ с целью выбора оптимального по заданным критериям решения. Важным этапом анализа является исследование чувствительности структурной функции. Результаты исследования позволяют оценить принятое решение, дать обоснованный ответ на вопрос: при каких условиях принятое решение окажет влияние на результат? Исследование чувствительности предполагает анализ зависимости изменения значений результирующих атрибутов от изменения значений одного или нескольких исходных. В работе предлагается модификация метода активизации многомерного пути (метод Спилмана и Су) [1] за счет использования понятия направления (ориентации) D-кубов для m-уровневых компонент. Принят следующий способ изложения полученных результатов.

Формулируется задача анализа чувствительности структурной функции, реализованной на m-уровневых компонентах. Приводится обзор известных методов исследования чувствительности структурной функции, описываемой функциями многозначной логики. Вводится понятие направленных D-кубов для m-уровневых компонент. Предлагается метод анализа чувствительности структурной функции. На примерах излагается методика его использования и такие новые качества, как отсутствие ограничений на допустимые типы m-уровневых компонент и значность m.

Постановка задачи анализа чувствительности структурной функции

Одним из этапов поддержки принятия решений является анализ влияния изменения значений исходных атрибутов на результирующий атрибут. Это предполагает исследование его чувствительности к изменению значений исходных атрибутов и определение условий, при которых такие изменения оказывают влияние на решение. Рассмотрим задачу анализа структурной функции ЭО, содержащей m-уровневые компоненты в следующей постановке.

Дана структурная функция S, реализованная m-уровневыми компонентами. Функция S имеет n исходных ($x_1,\ldots x_i,\ldots,x_n$) и один результирующий $f\,(x_1,\ldots x_i,\ldots,x_n)$, зависящий от исходных, атрибуты. Требуется определить параметры исходных атрибутов, позволяющие обнаружить априори заданное изменение значений атрибутов структурной функции по изменению значения результирующего атрибута. При этом будем полагать, что изменение значения исходного атрибута есть *принятие решения*, а изменение значений результирующего атрибута – есть *результат принятого решения*.

Условием наблюдения изменения результирующего атрибута, обусловленное сменой значения атрибута x с a на b, называется набор $t_1,\ldots t_i,\ldots t_n$, $t_i \in(0,.., m–1)$ значений исходных атрибутов $x_1,\ldots x_i,\ldots,x_n$, при котором значения до изменения $f\,(t_1,\ldots t_i,\ldots,t_n)$ и после изменения $f^*(t_1,\ldots t_i,\ldots,t_n)$ различны.

Анализ чувствительности заключается в определении условий x_1, x_2,..., x_n , при которых возникшее изменение одного или нескольких исходных атрибутов оказывает влияние на результирующий атрибут.

Анализ методов исследования чувствительности структурной функции

В настоящее время наблюдается два подхода к анализу чувствительности структурной функции: первый — ориентирован на анализ чувствительности относительно любого промежуточного атрибута, а второй подход ограничивается анализом чувствительности только относительно исходных атрибутов.

В рамках первого подхода предложены методы, жестко ориентированные на класс и значность базовых компонент функции [1, 2]. Так, Спиллман и Су [1] обобщили метод активизации многомерного пути на структурные функции, реализованные на m-уровневых компонентах. Предложенный ими алгоритм позволяет выявить узкий класс изменения значений атрибута для структурных функций, реализованных только на ограниченном наборе базовых компонент [3]. Метод не дает возможности обнаружить другие изменения, например, неверное распознавание значения атрибута уровня p как уровня (p+1) для всех возможных случаев и исследовать структурные функции реализованных на компонентах иного функционального базиса (например, [4]).

В работе [2] предложены и исследованы модели более широкого класса. Идея метода обнаружения изменений значений атрибутов заключается в том, что для каждого атрибута x исследуемой структурной функции записывается модель изменения $t'=\nu_x\cdot t\vee\phi_x$. Для этой модели формируется уравнение, решения которого являются искомыми наборами. Метод ориентирован на определенный функциональный базис m-уровневых компонент [4].

Второй подход состоит в исследовании чувствительности структурной функции к изменениям значений входных атрибутов, что позволяет изучить чувствительность функции относительно изменения значений ее входных атрибутов. При этом тип функционального базиса не имеет значения, поскольку функция задается не совокупностью компонент и связей, а своим полным логическим описанием. В основу таких методов положены, как правило, элементы логического дифференциального исчисления.

Так, методика [5] основывается на использовании логических производных функций m-значной логики. Однако прямое использование полученных логических производных ограничивается задачами исследования чувствительности функции только относительно исходных атрибутов и требует значительных вычислительных затрат.

В работе [6] задачу исследования чувствительности структурной функции предлагается решать с помощью направленных логических производных. Суть этого метода заключается в том, что для функции m-значной логики вычисляется направленная логическая производная $\partial f(j\to k)/\partial x_i(a\to b)$. Данная производная фиксирует условия, при которых изменение значения аргумента x_i с a на b вызывает изменение значений функции с j на k. Из совокупности этих условий для определенных исходных данных рассчитываются условия влияния однократного изменения значения атрибута x_i на значение функции. Следует подчеркнуть, что вычислительные процессы построены на символических преобразованиях логических функций.

На результатах этой работы основывается подход, предложенный в [7]. Суть его заключается в том, что для исследуемого атрибута x_i структурной функции вычисляется оператор полной чувствительности (*full sensitivity*) FS $f(\mathrm{X})$/FS x_i и выполняется анализ результата по критерию достоверности функции. Этот подход обладает всеми недостатками, присущими методу [6], однако позволяет несколько уменьшить объем вычислений за счет ограничения исследуемых изменений.

DD-кубы для *m*-уровневых компонент и алгоритм их формирования

Введем ряд обозначений. Изменение значения m-уровневого атрибута с p на q будем записывать в виде $\mathrm{D}_{p\to q}$ ($p,q \in\{0, \ldots, m-1\}$, $p\neq q$). Например, запись $\mathrm{D}_{1\to 2}$ фиксирует факт изменения значения атрибута с уровня логической 1 на уровень логической 2.

Теоретико-множественную операцию разности множеств M\Y, где M={0, …, m–1} и $\mathrm{Y}\subseteq\mathrm{M}$ будем обозначать в виде U_Y. Например, запись $\mathrm{U}_{0,1,4}$ определяет множество {2, 3, 5, …, m–1}. Для обозначения множества {0, …, m–1} используется символ U.

Определение 1. Направленным D-кубом (DD-кубом) называется способ описания структурной функции в виде зависимости изменения значения результирующего атрибута от изменения значений его исходных атрибутов (одного x_i или нескольких) [8].

Без потери общности рассмотрим структурную функцию с n исходными и одним результирующим атрибутами, принимающую m различных состояний. В этом случае DD-куб для компонента с n исходными атрибутами $x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_n$ и реализующего логическую функцию $f(x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_n)$, представляется следующим образом:

исходные и результирующий атрибуты компонента: $x_1 \ldots x_i \ldots x_n \quad f(x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_n)$;

DD-куб для компонента $\mathrm{U}_{\mathrm{Y}_1} \ldots \mathrm{D}_{a\to b} \ldots \mathrm{U}_{\mathrm{Y}_n} \quad \mathrm{D}_{j\to k}$.

Здесь символы $\mathrm{U}_{\mathrm{Y}_1}, \ldots, \mathrm{U}_{\mathrm{Y}_n}$ эквиваленты записи U_Y для атрибутов $x_1, \ldots, x_n$.

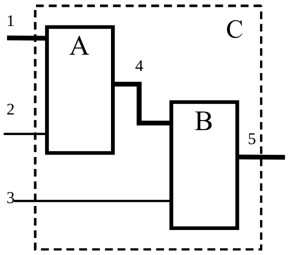
Теорема. *Направленная логическая производная* $\partial\mathbf{X}(j\to k)/\partial x_i(a\to b)$ *функции m-значной логики определяет DD-кубы* [9–10].

Пример. Для трехзначной логической функции $f(\mathrm{X})$ четырех переменных (m=3, n=4) направленная производная $\partial\mathbf{X}(0\to 2)/\partial x_1(0\to 1)$=[222000000 222000000 000000000 222000000 222000000 000000000 222000000 222000000 000000000]$^\mathrm{T}$ имеет запись вида $\partial f(0\to 2)/\partial x_1(0\to 1)=(x_2^0 \vee x_2^1)\, x_3^0$. Изменение значения логической функции с 0 на 2 ($\mathrm{D}_{0\to 2}$) при изменении значения переменной x_1 с 0 на 1 ($\mathrm{D}_{0\to 1}$) происходит при значениях: x_2=0 или 1 (U_2); x_3=0 (0); x_4=0, 1 или 2 (U).

Теорема является основой для построения алгоритма формирования DD-куба по результату вычисления направленной логической производной [9].

Определение 2. Пересечением DD-кубов называется операция над DD-кубами для соединенных между собой компонент, при условии совпадения изменения значения результирующего атрибута одного из них и исходного атрибута другого.

На рис. 1 приведена схемотехническая интерпретация операции пересечения двух DD-кубов для компонент min (x_1, x_2) (A) и max (x_1, x_2) (B). В результате пересечения получаем DD-куб для составного компонента C, реализующего функцию max (min (x_1, x_2), x_3). Этот DD-куб определяет условия (значения 2-го и 3-го исходных атрибутов компонента C), при которых изменение $\mathrm{D}_{0\to 1}$ значения первого атрибута наблюдается в значении выходного атрибута ($\mathrm{D}_{0\to 1}$).



	1	2	3	4	5
A	$D_{0\to1}$	U_0		$D_{0\to1}$	
B			0	$D_{0\to1}$	$D_{0\to1}$
C	$\mathbf{D_{0\to1}}$	$\mathbf{U_0}$	**0**		$\mathbf{D_{0\to1}}$

Рис. 1. Интерпретация операции пересечения DD-кубов на примере двух компонент A и B, принимающих три устойчивых состояния min (x_1, x_2) и max (x_4, x_3)

Установим соответствие между приведенными определениями DD-кубов и исследуемыми изменениями для структурных функций, реализованных на основе *m*-уровневых компонент. Если требуется исследовать изменение атрибута, меняющее его значение с *a* на *b*, то необходимо: (*а*) определить исходное изменяемое значение атрибута — параметр *a*; (*б*) задать изменение значения этого атрибута $D_{a\to b}$.

Анализ чувствительности структурной функции

Изложим методику применения предложенного метода для анализа чувствительности структурной функции, реализованной на *m*-уровневых компонентах. При этом выделим следующие важные для практики аспекты: (а) применение метода для исследования чувствительности функций, реализованных в различном базисе *m*-уровневых компонент; (б) особенности применения метода при анализе чувствительности функций, принимающих *m*-устойчивых состояний.

Определение 3. *Направленной D-последовательностью* (DD-последовательностью) будем называть способ описания структурной функции с заданным в *s*-м атрибуте изменением. В этом описании используются DD-кубы для компонентов структурной функции, изменение и пути его транспортировки до результирующего атрибута.

Модифицированный метод Спиллмана для анализа чувствительности структурной функции имеет вид.

Исходные данные. Структурная функция на *m*-уровневых компонентах; анализируемый атрибут *s*; исследуемое изменение значения атрибута.

Шаг 1. Определить для *s*-го атрибута изменение (начальная DD-последовательность).

Шаг 2. Определить *m*-уровневые компоненты, находящиеся на пути транспортировки изменения от места возникновения до результирующего атрибута

Шаг 3. Вычислить DD-кубы для этих компонентов.

Шаг 4. Выполнить операции пересечения начальной DD-последовательности с DD-кубами для компонентов, находящимися на пути транспортировки изменения (прямая фаза). Результатом является DD-последовательность.

Шаг 5. Доопределить DD-последовательности исходными значениями компонентов, не лежащих на пути активизации (обратная фаза).

Выходные данные. Условия (наборы значений исходных атрибутов), при которых наблюдается заданное изменение.

Метод Спиллмана жестко привязан к компонентам функционального базиса [3] и его нельзя использовать для анализа структурных функций, реализованных с использованием других компонент. Предлагаемый подход устраняет данный недостаток. Этот эффект достигается за счет использования DD-кубов, применение которых исключает необходимость классификации путей транспортировки изменения в зависимости от функций компонентов на активизированном пути. Другими словами, в предлагаемой модификации метода Спиллмана устраняется связь активизированного пути с функциональным базисом объекта.

Метод исследования чувствительности структурной функции имеет вид.

1. Определить класс исследуемых изменений для заданного атрибута E={E_1, …, E_μ, …, E_q}.

2. Определить множество Z допустимых значений атрибута: $Z \subset M$, где $M=\{0, 1, \ldots, m–1\}$.

3. Сформировать начальные DD-последовательности для каждого изменения E_μ класса E, где исследуемый атрибут обозначается $D_{Z(E\mu)\to Z'}$.

4. Для каждого изменения E_μ определить условия (значения исходных атрибутов), при которых изменение значения $D_{a\to b}$ исследуемого атрибута ($a\in\{Z(E\mu)\}$, $b\in\{Z'\}$) вызывает изменение значения $D_{j\to ж}$ результирующего атрибута.

Поясним использование метода на конкретном примере.

Пример 1. Исходные данные: описание процесса анализа надежности банка в виде структурной функции, зависящей от n=8 исходных атрибутов ($x_1, \ldots, x_8$) (рис. 2). Структурная функция состоит из четырех компонент: оценки прибыльности банка (компонент A), оценки достаточности собственного капитала (компонент B), оценка качества активов банка (компонент C), оценки надежности банка (компонент D). Структурная функция содержит результирующий x_{12} и промежуточные x_9, x_{10}, x_{11} атрибуты. Назначение атрибутов структурной функции описано в табл. 1. Данная структурная функция, реализована с использованием двух трехзначных (m_1=3) компонент A, C и двух четырехзначных (m_2=4) компонент B, D. Логические функции, реализованные этими компонентами, заданы экспертами в виде векторов значений $\mathbf{X}_A$, $\mathbf{X}_B$, $\mathbf{X}_C$, $\mathbf{X}_D$ логических функций компонент структурной функции анализа надежности банка, полученные на основе экспертных оценок: $\mathbf{X}_A$=[000001111 001111112 011 112 222]^T; $\mathbf{X}_B$=[0000 1111 1223 1223]^T; $\mathbf{X}_C$=[012012022 001011022 011011022]^T; $\mathbf{X}_D$=[000000000011 000000012112 000000012012]^T.

Требуется исследовать чувствительность структурной функции на изменение (увеличение) значения атрибута x_{10} (*достаточность собственного капитала*) с 1 на 2, при априори заданных значениях исходных атрибутов x_2=2 (*отчисления в резервы*), x_4=1 (*размер собственного капитала*), x_8=2 (*максимальный размер риска*).

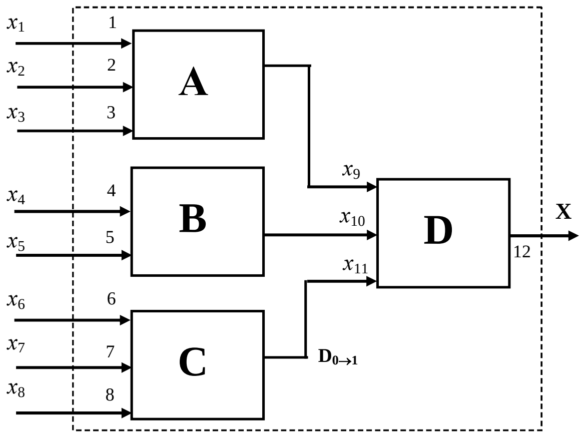


Рис. 2. Схематичное представление структурной функции, описывающей оценку надежности банка (x_{12}). Исходные атрибуты: процентные и непроцентные расходы банка (x_1), отчисления в резервы и непредвиденные потери (x_2), предложение кредитных ресурсов на рынке МБК (x_3), размер собственного капитала банка (x_4), отношение резервного фонда (РФ) банка к уставному фонду (УФ), в процентах (x_5), "общественная полезность банка" (x_6), удельный вес проблемных кредитов (x_7), максимальный размер риска на одного клиента (x_8), прибыль банка (x_9), достаточность собственного капитала банка, соответствие требованиям Центробанка (x_{10}), качество активов банка (x_{11})

Для исследования чувствительности структурной функции на заданное увеличение значения атрибута x_{10} достаточно определить условия транспортировки на результирующий атрибут изменения $D_{1\to2}$.

На пути транспортировки изменения $D_{1\to2}$ аргумента x_{10} находятся 4-уровневый компонент D. Заранее сформируем для этого компонента DD-кубы и запишем их в табл. 2.

Таблица 1. **Интерпретация атрибутов структурной функции**

Наименование атрибута	Значение атрибута и его описание			
	0	1	2	3
Расходы банка по среднему уровню (x_1)	Выше	На уровне показателя	Ниже	
Отчисления в резервы и непредвиденные потери (x_2)	Выше среднеотраслевого уровня	На среднеотраслевом уровне либо ниже	Отсутствуют	
Предложение кредитных ресурсов на рынке МБК (x_3)	Избыток ликвидности	Спрос равен предложению	Недостаток ликвидности	
Размер собственного капитала банка (x_4) a_1=5 млн евро a_2=10 млн евро	$x_4<a_1$	а) $a_1 \le x_4 < a_2$; на балансе депозиты физ. лиц; б) $a_2 \le x_4$; депозиты физ. лиц больше x_4	$a_1 \le x_4 < a_2$; на балансе нет депозитов физ. лиц	$a_2 \le x_4$; средства физ.лиц меньше x_4
Отношение резервного фонда (РФ) банка к уставному фонду (УФ), в процентах (x_5)	x_5<10% и $УФ^1–УФ^0=0$; $РФ^1–РФ^0<0$	а) x_5<10%, иначе б) 10%≤x_5<15%; $РФ^1/РФ^o \ge УФ^1/УФ^o \ge 1$ не выполняется	а) 10%≤x_5<15% и $РФ^1/РФ^o \ge УФ^1/УФ^o \ge 1$ б) x_5<10% и $РФ^1/РФ^o>1$; $РФ^1/РФ^o>УФ^1/УФ$	15%≤x_5
Отношение кредитов клиентам к активам (x_6)	x_6<0,45	0,45≤x_6<0,6	0,6≤x_6	
Удельный вес проблемных кредитов в кредитном портфеле банка (x_7)	8%<x_7	5%<x_7≤8%	0≤x_7≤5%	
Максимальный размер риска на одного клиента (x_8) — соотношение суммы требований банка к клиенту и x_4	а) 25%<x_8 б) 10%<x_8≤25% и $\Sigma x_8>6\ x_4$	10%<x_8≤25% и $\Sigma x_8<6\ x_4$	x_8≤10%	—
Прибыль банка по отношению к среднему (x_9)	Ниже	На уровне	Выше	—
Достаточность собственного капитала банка (x_{10})	Ниже требований ЦБ	Требования частично не соблюдаются	В целом удовлетворяет требованиям	Удовлетворяет ЦБ
Качество актива банка (x_{11})	Неудовлетвльное	Удовлетворительное	Хорошее	—
Надежность банка **X**	Низкая	Удовлетворительная	Хорошая	

Таблица 2. **DD-кубы для компонента D структурной функции, изображенной на рис. 2**

Исходные атрибуты			Результирующий	Исходные атрибуты			Результирующий
$D_{0\to1}$	2	1	$D_{0\to1}$	U_0	$D_{0\to3}$	2	$D_{0\to2}$
$D_{0\to1}$	3	0	$D_{0\to1}$	U_0	$D_{1\to2}$	1	$D_{0\to1}$
$D_{0\to1}$	2	2	$D_{0\to2}$	U_0	$D_{1\to2}$	2	$D_{0\to2}$
$D_{0\to1}$	3	2	$D_{1\to2}$	1	$D_{1\to3}$	U_2	$D_{0\to1}$
$D_{0\to2}$	2	1	$D_{0\to1}$	0	$D_{1\to3}$	U_0	$D_{0\to1}$
$D_{0\to2}$	2	2	$D_{0\to2}$	U_0	$D_{1\to3}$	2	$D_{0\to2}$
$D_{0\to2}$	3	2	$D_{1\to2}$	0	$D_{2\to3}$	U_0	$D_{0\to1}$
$D_{1\to2}$	3	0	$D_{1\to0}$	1	$D_{3\to3}$	0	$D_{0\to1}$
U_0	$D_{0\to2}$	1	$D_{0\to1}$	U_1	3	$D_{0\to1}$	$D_{0\to1}$
U_0	$D_{0\to2}$	2	$D_{0\to2}$	U_0	2	$D_{0\to1}$	$D_{0\to1}$
U	$D_{0\to3}$	1	$D_{0\to1}$	0	3	$D_{0\to2}$	$D_{0\to1}$
0	$D_{0\to3}$	U_0	$D_{0\to1}$	U_0	2	$D_{0\to2}$	$D_{0\to2}$
1	$D_{0\to3}$	U_2	$D_{0\to1}$	2	U_{01}	$D_{0\to2}$	$D_{0\to2}$

Активизируем путь транспортировки $D_{1\to2}$ изменения атрибута x_{10} к результирующему атрибуту и сформируем DD-последовательность (табл. 3).

Таблица 3. **Построение DD-последовательности для атрибута x10 (достаточность собственного капитала) структурной схемы на рис. 2**

Компонент	Атрибуты структурной функции											
	Исходные								Промежуточные			Результ.
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
*										$D_{1\to2}$		
D									U_0	$D_{1\to2}$	1	$D_{0\to1}$
A	U	**2**	U						U_0			
C						U_0	U_2	**2**				
B				**1**	U					1		
DD-последовательность												
	U	**2**	U	**1**	U	U_0	U_2	**2**	U_0	$D_{1\to2}$	1	$D_{0\to1}$

Примечание: символом * отмечена начальная DD-последовательность.

Таким образом, условия для обнаружения изменения $D_{1\to2}$ атрибута x_{10} структурной функции (рис. 2) имеют вид: **U 2 U 1 U $\mathbf{U_0}$ $\mathbf{U_2}$ 2**.

Дадим экономическую интерпретацию полученного результата.

Для того, чтобы принятое решение об увеличении собственного капитала ($D_{1\to2}$) при априори заданных условиях (отчисления в резервы (x_2=2), размер собственного капитала (x_4=1) и максимальный размер риска (x_8=2)) привело к увеличению надежности банка, необходимо, чтобы значение показателя "общественная полезность банка" было отлично от 0, а значение показателя "удельный вес проблемных кредитов в кредитном портфеле банка" было меньше 2. Значения атрибутов: процентные и непроцентные расходы банка (x_1); предложение кредитных ресурсов на рынке МБК (x_3) и отношение резервного фонда банка к уставному фонду (x_5) не оказывают влияния на результат.

Аналогично анализируется чувствительность результирующего атрибута (надежность банка) от изменения значений других исходных атрибутов.

Таким образом, осуществляется анализ чувствительности компонента структурной функции к изменениям значений его исходных атрибутов. Результаты исследования чувствительности позволяют оценить принятое решение (в примере — решение по изменению размера собственного капитала) и аргументировать выбранное решение: при каких условиях и как это решение окажет влияние на результат. Оценка экспериментов по эффективности исследования чувствительности структурных схем на основе логических дифференциальных операторов приведена в [10].

Заключение

Математический аппарат логического дифференциального исчисления позволяет исследовать зависимость изменения значения результирующего атрибута от изменения значений исходных атрибутов, заданных лингвистическими (категориальными) переменными посредством однородных и регулярных по структуре матричных алгоритмов [9–10]. Ориентирование аппарата на обработку лингвистических переменных обеспечивает возможность его использования в качестве инструмента СППР. Кроме того, с его помощью можно решать задачи многозначной логики, связанные с диагностикой технических устройств и обработкой изображений, аналогичные тем, которые рассмотрены в [15], но в рамках бинарной логики.

Дальнейшее совершенствование полученных результатов с целью разработки метода анализа структурных функций на m-уровневых компонентах, удовлетворяющего требованиям современных систем поддержки принятия решений об экономическом объекте, состоит: (а) в сокращении объема вычислений за счет группировки DD-кубов для различных изменений [11–12], (б) в экспериментальных исследованиях в составе СППР и разработке прикладных методик и рекомендаций; (в) в разработке алгоритмов анализа надежности объектов, описываемых несколькими устойчивыми состояниями [13–14].

Исследования частично поддержаны грантами Scientific Grant Agency of the Ministry of Education of Slovak Republic and the Slovak Academy of Sciences ZU/05VV_MVTS13 and (VEGA)

No 1/1053/04. Авторы статьи выражают благодарность участникам белорусско-словацкого семинара "Системы поддержки принятия решений" (БГЭУ, Минск, июнь 2006) за конструктивные замечания, улучшившие результаты исследования.

SENSITIVITY ANALYSIS OF STRUCTURE FUNCTIONS MULTIPLE-VALUED LOGIC IN SYSTEMS OF DECISIONS MAKING SUPPORT

V.G. LEVASHENKO, I.K. KOZLOVA, S.A. POTTOSINA

Abstract

The work objective is adaptation of multiple-valued logic technique to its application in the systems of support of making decision on an economical object. The application of that technique allows investigating the results of the made decision: the analysis of economical object dynamics, the investigation of sensitivity of economical objects to changes.

Литература

1. *Spillman R.J., Su S.Y.H.* // IEEE Trans. on Computers. 1977. Vol. C26, № 12. P. 1242–1251.
2. *Coy W., Moraga C.* // IEEE Proc. 9th Int. Symp. on Multiple-Valued Logic. 1979. P. 74–81.
3. *Vranesic Z., Lee S., Smith K.* // IEEE Trans. on Computers. 1970. Vol. C19, № 10. P. 964–971.
4. *Rine D., Allen C., Givone D.* Computer Science and Multiple-Valued Logic, Amsterdam. 1977.
5. *Shmerko V., Yanushkevich S.* // Proc. Europ. Conf. on Circuit Theory and Design. 1993. P. 643–646.
6. *Guima T.A., Tapia M.A.* // IEEE Proc. 17th Int. Symp. on Multiple-Valued Logic. 1987. P. 99–108.
7. *Dubrova E., Gurov D., Muzio J.* // IEEE Proc. 24th Int. Symp. on Multiple-Valued Logic. 1994. P. 284–288.
8. *Shmerko V., Yanushkevich S., Levashenko V.* // Proc. 27th IEEE Int. Symp. on Multiple-Valued Logic. Nova Scotia, Canada, 1997. P. 139–144.
9. *Шмерко В.П, Левашенко В.Г., Янушкевич С.Н.* // Кибернетика и системный анализ НАН Украины. 1996. № 6. С. 41–58.
10. *Levashenko V, Yanushkevich S., Moraga C., Holowinsky G.* // Proc. 7th Int. Workshop on Post-Binary Ultra-Large-Scale Integration Systems. Fukuoka. Japan, 1998.
11. *Kamiura N., Isokawa T., Matsui N.* // Proc. 30nd IEEE Int. Symp. on Multiple-Valued Logic. Japan. 2000. P. 245–250.
12. *Kamiura N., Isokawa T., Matsui N.* // Proc. 32nd IEEE Int. Symp. on Multiple-Valued Logic. Boston, Massachusetts, USA. 2002. P. 149–155.
13. *Zaitseva E., Levashenko V., Matiasko K., Puuronen S.* // Advances in Safety and Reliability, Kołowrocki (ed.). Taylor & Francis Group. London, 2005. P. 2079–2086.
14. *Matiasko K., Zaitseva E., Kovalik S., Levashenko V.* // J. of Electrical Engineering (Slovak Centre of IEE). 2005. Vol. 56, № 11–12. P. 306–312.
15. *Поттосина С.*А., *Кузьмицкий Д.В.*, *Шмерко В.П.*, *Янушкевич С.Н.* Булево дифференциальное исчисление в вычислительной технике: Учеб. пособие. Ч. 2. Методы булева дифференциального исчисления в решении прикладных задач. Минск, 1992.