

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗНАЧИМЫХ СКРЫТЫХ ВЛИЯНИЙ В СИСТЕМЕ ОТКЛИКОВ ОБЪЕКТОВ

Назаров Д.М., Бегичева С.В., Азаров Д.А.¹

¹Уральский государственный экономический университет

улица 8 Марта/Народной Воли, 62/45, Екатеринбург, Свердловская обл., 620144, Россия

тел.: (343) 221-27-56, e-mail: andr17@yandex.ru

Аннотация — Рассмотрена проблема выявления скрытых закономерностей в данных, характеризующих систему откликов объектов и обладающих значительной ценностью в решении задач управления. Выявлены основные достоинства и недостатки работы с нечеткими системами в процессе моделирования объекта, определяющие границы применения нечеткой логики. Приведена нечеткая модель поиска значимых скрытых (имплицитных) влияний в системе откликов объектов на основе нечетко-множественного подхода и интеллектуального анализа данных, объединяющих задание нечетких бинарных отношений и нечетких бинарных соответствий через их композицию, а также рефлексивный отбор опосредованных факторов. Установлена ее способность с помощью полученных на базе автоматизированного алгоритма обучения оценок на естественном языке идентифицировать скрытые элементы канала связи и определить силу их влияния на непосредственно измеряемые выходные показатели. Описана возможность применения модели в системе откликов изображений при анализе имплицитных влияний их ключевых параметров, а также ряда экономических объектов.

FUZZY MODEL FOR IDENTIFYING SIGNIFICANT SUBTLE INFLUENCES WITHIN A SYSTEM OF OBJECTS' RESPONSES

Nazarov D.M., Begicheva S.V., Azarov D.A.¹

¹ Ural State University of Economics

ul. 8 Marta/Narodnoy Voli, 62/45, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620144, Russian Federation

ph.: (343) 221-27-56, e-mail: andr17@yandex.ru

Abstract — The paper deals with the problem of revealing subtle consistent patterns of functional connections between sets of data describing a system of objects' responses and being of significant value to solving control problems. The main strengths and weaknesses of utilizing fuzzy systems for modeling that limit the use of fuzzy logic in research are explored afterwards. It outlines the main features of the fuzzy model for identifying significant subtle (implicit) influences within a system of objects' responses based on a cross between fuzzy set and data mining approaches which embrace fuzzy binary relations and correspondence and their composition as well as reflexive selection of mediating factors. The tool for obtaining assessments in natural language resulting from exploiting an automated learning algorithm is later suggested. The method's ability to locate non-evident elements of a communication channel and evaluate the power of effects produced is then unveiled. After that the model's applicability to examining the system of images' responses when analysing implicit influences among their key attributes is discovered. The article lastly brings evidence for its adaptability to simulating mutual impacts of a range of economic objects.

I. Введение

Определение закономерностей поведения систем представляет собой актуальную задачу для современных исследований, поскольку позволяет сделать предположение об их основных характеристиках, свойствах, а также построить на базе полученных результатов вероятные сценарии их реакции на поступающие сигналы. Выявленная таким образом информация об особенностях взаимодействия системы с окружающей средой обладает существенной ценностью для решения практических задач, связанных с установлением контроля над деятельностью системы, в частности, при устранении основных ограничителей и обеспечении достижения заданных результатов. Тем не менее, в ряде случаев описание ожидаемого поведения системы лишь на основании ключевых категорий затрудняется ее многоцелевым характером, значительным количеством элементов, свойств, связей, отношений, наличием скрытых, имплицитных влияний, сложной структурой и т.д. Кроме того, при необходимости получения достаточно точных результатов неизбежна работа с большими данными [15], которыми подробно описывается состояние как внутренней, так и внешней среды системы, что предопределяет потребность в решениях класса Business Intelligence [10, с. 14-15] и вызывает дополнительные трудности. Одним из способов решения проблемы

выступает моделирование объекта исследования на основе имеющихся данных для установления зависимости между подаваемым входным воздействием и откликом (выходной реакцией) системы с использованием инструментов интеллектуального анализа данных.

II. Основная часть

Под сигналом в общем виде будем понимать носитель измерительной информации [4, с. 250]. Скрытые, или имплицитные, влияния будем трактовать как порождаемые имплицитными факторами неявные воздействия внутри системы, способные вызвать синергетический эффект. К имплицитным факторам будем относить неявные факторы, оказывающие значимое влияние на деятельность системы, в основе которого лежит скрытая, не учитываемая ранее информация, практически полезная и доступная для генерации знаний и принятия решений [7, с. 12-13].

Важным условием для определения соотношения выходной реакции системы и входного воздействия на нее является идентификация канала связи, обеспечивающего передачу сигнала от источника сообщений к получателю через набор звеньев. Неверное распознавание канала связи может привести к ложному пониманию зависимости, что в конечном итоге приведет к невозможности применения модели в реальных условиях. Для

выявления подобных звеньев предлагается использовать аппарат нечеткой логики.

Несмотря на наличие значительного количества методологических подходов к оценке зависимости отклика системы от подаваемого на вход воздействия (исследования И.И. Сальникова [8], А.В. Седова [9], Ю.А. Ковалю, Е.В. Ивановой, А.А. Костыри, А. Ал-Твержи [2], А. Сандрихайлы, Х. Муры [18] и др.), разработанные инструменты, по мнению авторов, не в полной мере отражают фактор неопределенности. Эта особенность, может иметь критическое значение в условиях имплицитности. Таким образом, имеет смысл сосредоточиться на использовании в анализе аппарата нечетких множеств, позволяющего преодолеть указанные недостатки.

К числу достоинств работы с нечеткими системами следует отнести возможность исследования параметров, не поддающихся традиционным методам формализации; разработки решений в условиях недостаточных для проведения другого (например, статистического) анализа данных; использования в вычислениях приближенных данных; универсальность [11; 14] и др. [12, с. 25-26; 3, с. 6]. Более того, нечеткое представление показателей в модели обогащает результаты исследований, позволяет оценить не только значения показателей, но и степень правдоподобия каждого значения или степень доверия ему. Нечеткая логика допускает оценку надежности нечеткого ранжирования вариантов по заданным наиболее правдоподобным значениям показателей, характеризующих эти варианты. В результате повышается обоснованность результатов. Помимо этого, использование аппарата нечетких множеств позволяет исследовать устойчивость эндогенных показателей модели по отношению к вариации ее экзогенных показателей. Как следствие появляется возможность количественной оценки последствий большей или меньшей волатильности тех или иных входных переменных для устойчивости выходных параметров. Основными недостатками метода является отсутствие регламентированных теорией нечетких множеств принципов выбора адекватной функции принадлежности, а также необъективность при составлении исходного набора правил нечеткого ввода и т.д. [12, с. 26; 3, с. 6]. Тем не менее, указанные слабости подхода являются вынужденными потерями в условиях работы с нечеткими данными и не снижают его актуальности, что подтверждается высоким вниманием ученых к изучению нечетких систем.

Базовая идея применения нечетко-множественного подхода заключается в том, что некоторый показатель представляется интервальным и определяется не числом, а промежутком (фазсифицируется), и направлена на отражение реальных ситуаций, когда относительно точно заданы граничные значения анализируемого параметра, в пределах которых он варьируется. Как следствие, требуется формализовать понимание вероятных значений рассматриваемого показателя с указанием множества возможных значений и степени неопределенности их принятия. Затем, после расчета распределения возможности обобщенного показателя, необходимо перейти к стадиям дефазсификации и интерпретации,

основываясь на системе правил и используя построенную машину вывода.

Задачей построения модели является выявление и количественная оценка влияния скрытых, имплицитных, факторов, представляющих собой звенья канала связи, на связанные непосредственно с ними параметры и через них – на некоторые ключевые показатели. Важным аспектом будет обнаружение самих имплицитных факторов влияния. Нечеткие бинарные отношения, их композиция, а также алгоритмы интеллектуального анализа данных выступают базовыми инструментами создания модели. Продемонстрируем логику построения модели.

Пусть задано некоторое множество $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. С определенной степенью вероятности среди элементов множества найдутся два таких элемента, которые оказывают относительно незначительное взаимное влияние друг на друга, однако существует отличный от рассматриваемых двух элемент, с введением которого влияние становится весомым.

Введем некоторые определения. Пусть U — какое-либо множество, U^2 — декартов квадрат этого множества $(U^2 = U \times U = \{(a, b) : a, b \in U\})$. Нечетким бинарным отношением на множестве U называют нечеткое подмножество U^2 . Традиционные формы записи нечеткого бинарного отношения для дискретного и непрерывного множеств представлены в формулах (1) и (2) соответственно.

$$\Gamma = \frac{\sum_{U^2} \mu_{\Gamma}(u_i, u_j)}{(u_i, u_j)}, \quad (1)$$

$$\Gamma = \int_{U^2} \frac{\mu_{\Gamma}(x, y)}{(x, y)}. \quad (2)$$

Матрицы, элементами которой являются значения функции принадлежности нечеткого бинарного отношения $\mu_{\Gamma}(x, y)$, обозначим Γ_{Γ} .

Композиция нечетких бинарных отношений Γ_1 и Γ_2 определяется таким нечетким бинарным отношением $\Gamma = \Gamma_1 \circ \Gamma_2$, что справедлива формула (3):

$$\frac{\mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y)}{(x, y)} = \bigcup_{z \in U} ((\mu_{\Gamma_1}(x, z) / (x, z)) \cap (\mu_{\Gamma_2}(z, y) / (z, y))). \quad (3)$$

Учитывая, что пересечение одноточечных нечетких множеств $\mu_{\Gamma_1}(x, z) / (x, z)$ и $\mu_{\Gamma_2}(z, y) / (z, y)$, как правило, выполняется по логической T -норме, а объединение – по логической T -конорме: $a \cap b = \min(a, b)$, $a \cup b = \max(a, b)$, формула (3) принимает вид формулы (4).

$$\frac{\mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y)}{(x, y)} = \max_{z \in U} \left(\frac{\min(\mu_{\Gamma_1}(x, z), \mu_{\Gamma_2}(z, y))}{(x, y)} \right). \quad (4)$$

В формулах (5) и (6) приведен график композиции отношений для дискретного и непрерывного множеств соответственно.

$$\Gamma_1 \circ \Gamma_2 = \sum_{U^2} \frac{\mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y)}{x, y} =$$

$$= \sum_{U^2} (\max(\min \mu_{\Gamma_1}(x, z), \mu_{\Gamma_2}(z, y))) / (x, y), \quad (5)$$

если U – конечное множество;

$$\Gamma_1 \circ \Gamma_2 = \int_{U^2} \mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y) / (x, y) =$$

$$= \int_{U^2} \frac{\max(\min \mu_{\Gamma_1}(x, z), \mu_{\Gamma_2}(z, y))}{(x, y)}, \quad (6)$$

если U – часть числовой оси или вся числовая ось.

Таким образом, из формулы (4) для конечного множества U получаем:

$$J_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2} = J_{\Gamma_1} \circ J_{\Gamma_2} =$$

$$= (\max_k (\min(\mu_{\Gamma_1}(u_i, u_k), \mu_{\Gamma_2}(u_k, u_j)))_{n \times n} =$$

$$= (\mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(u_i, u_j))_{n \times n},$$

где n — число элементов множества U .

Построим матрицу $J_{\bar{A}}$ для множества A .

$$J_{\Gamma} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1m} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nm} \end{pmatrix},$$

где s_{ij} ($0 \leq s_{ij} \leq 1; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) – сила влияния показателя a_i на показатель a_j .

Далее для обнаружения опосредованных влияний вычислим по формуле (4) значения элементов матрицы J_{Γ^2} :

$$J_{\Gamma} = J_{\Gamma} \cdot J_{\Gamma} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1m} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nm} \end{pmatrix}.$$

Осуществляемый в рамках интеллектуального анализа данных рефлексивный отбор опосредованных факторов [5, с. 50] подразумевает наличие такой пары s_{ij} и f_{ij} , что $s_{ij} \ll f_{ij}$, и указывает на существование имплицитного влияния, которое проявляется благодаря имеющемуся в системе фактору-посреднику [7, с. 14].

В качестве пояснения к описанной модели приведем пример для множества $\Gamma = \{a, b, c\}$.

Пусть a , b и c – три характеристики растрового изображения: a – глубина цвета, b – объем изображения, c – размер изображения. Влияние характеристик друг на друга определяется матрицей $J_{\bar{A}}$:

$$J_{\bar{A}} = \begin{pmatrix} 0,9 & 0,9 & 0,4 \\ 0,7 & 0,8 & 0,7 \\ 0,5 & 0,9 & 0,9 \end{pmatrix}.$$

Для определения опосредованного взаимного влияния характеристик друг на друга вычислим матрицу композиции:

$$J_{\bar{A}^2} = \begin{pmatrix} 0,9 & 0,9 & 0,4 \\ 0,7 & 0,8 & 0,7 \\ 0,5 & 0,9 & 0,9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,9 & 0,9 & 0,4 \\ 0,7 & 0,8 & 0,7 \\ 0,5 & 0,9 & 0,9 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 0,9 & 0,9 & 0,7 \\ 0,7 & 0,8 & 0,7 \\ 0,7 & 0,9 & 0,9 \end{pmatrix}.$$

Матрица J_{Γ^2} свидетельствует о наличии значительного опосредованного влияния фактора c на фактор a : $\mu_{\Gamma}(c, a) = 0,5, \mu_{\Gamma^2}(c, a) = 0,7$, а также фактора a на фактор c : $\mu_{\Gamma}(a, c) = 0,4$, $\mu_{\Gamma^2}(a, \tilde{n}) = 0,7$.

Для демонстрации процесса обнаружения фактора-посредника проведем анализ вычисления функции принадлежности $\mu_{\Gamma^2}(c, a) = 0,7$:

$$\mu_{\Gamma^2}(c, a) =$$

$$= \max(\min(0,5; 0,9), \min(0,9; 0,7), \min(0,9; 0,5)) =$$

$$= 0,7$$

Получаем следующее заключение об опосредованном влиянии фактора c на фактор a : «Размер изображения определяет его объем ($\mu_{\Gamma}(c, b) = 0,9$), объем изображения влияет на глубину цвета ($\mu_{\Gamma}(b, a) = 0,7$)». В результате имеем вывод: «Размер изображения через его объем определяет глубину цвета ($\mu_{\Gamma^2}(c, a) = 0,7$)». Таким образом, объем изображения выступает в роли неочевидного элемента канала связи, являющегося посредником между глубиной цвета и размером изображения, которые без учета его влияния связаны относительно слабо. Идентификация этого значимого фактора на основе интеллектуального анализа данных, характеризующих систему откликов изображения, позволяет сформировать адекватную оценку поведения объекта, которая в противном случае была бы существенно искажена. Сравнение взаимного влияния глубины цвета и размера изображения с учетом фактора-посредника и без него наглядно показано на рисунке 1.

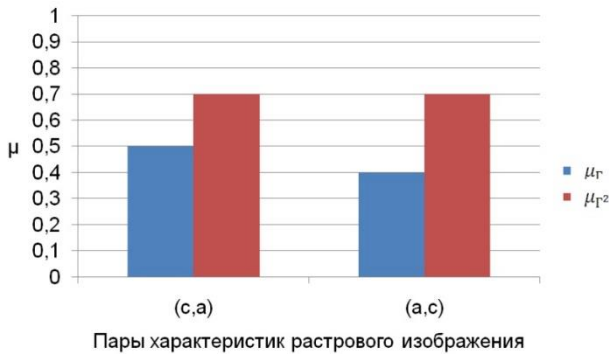


Рисунок 1 – Сравнение взаимного влияния глубины цвета и размера изображения с учетом фактора-посредника и без него

Составлено авторами.

При необходимости модель может быть адаптирована для работы с нечеткими бинарными соответствиями. Опишем концептуальные сходства и отличия данного варианта.

Под бинарным соответствием на множестве $A \times B$ понимают подмножество Γ декартова произведения множеств A и B : $\Gamma \subseteq A \times B$. Декартовым произведением $A \times B$ описывается множество всех пар, имеющих на первом месте элемент множества A , на втором – элемент множества B . В случае, если $A = B$ бинарные соответствия сводятся к виду бинарных отношений $\Gamma \subseteq A^2$.

Композиции бинарных соответствий и бинарных отношений задаются аналогично. Композиция нечетких бинарных соответствий $\Gamma_1 \subseteq A \times B$ и $\Gamma_2 \subseteq B \times C$ определяется формулой (7), причем для функции принадлежности справедлива формула (8).

$$\Gamma = \Gamma_1 \circ \Gamma_2 \subseteq A \times C, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y) / (x, y) = \\ & = \bigcup_{z \in B} (\mu_{\Gamma_1}(x, z) / (x, z) \cap \mu_{\Gamma_2}(z, y) / (z, y)) \quad (8) \\ & (x \in A, y \in \tilde{N}). \end{aligned}$$

Пересечение и объединение одноточечных нечетких множеств в случае бинарных соответствий выполняются по вышеописанным правилам. Формула (8) при этом принимает вид формулы (9):

$$\begin{aligned} & \mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y) / (x, y) = \\ & = \left(\max_{z \in B} (\min(\mu_{\Gamma_1}(x, z), \mu_{\Gamma_2}(z, y))) \right) / (x, y) \quad (9) \\ & (x \in A, y \in \tilde{N}). \end{aligned}$$

График композиции соответствий для конечных множеств описывается формулой (10), формула (11) задает график для множеств, представляющих промежуток числовой оси или всю числовую ось.

$$\begin{aligned} \Gamma_1 \circ \Gamma_2 &= \sum_{A \times C} \mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y) / (x, y) = \\ &= \sum_{A \times C} \left(\max_{z \in B} (\min(\mu_{\Gamma_1}(x, z), \mu_{\Gamma_2}(z, y))) \right) / (x, y), \quad (10) \end{aligned}$$

если A , B и C – конечные множества;

$$\begin{aligned} \Gamma_1 \circ \Gamma_2 &= \int_{A \times C} \mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x, y) / (x, y) = \\ &= \int_{A \times C} \max_{z \in B} (\min(\mu_{\Gamma_1}(x, z), \mu_{\Gamma_2}(z, y))) / (x, y), \quad (11) \end{aligned}$$

если A , B и C – промежуток числовой оси или вся числовую ось.

Из формулы (10) следует, что матрица композиции отношений $J_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}$ в случае, если A , B и C – конечные множества, есть не что иное как максиминное произведение матриц J_{Γ_1} и J_{Γ_2} :

$$\begin{aligned} J_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2} &= J_{\Gamma_1} \cdot J_{\Gamma_2} = \\ &= \left(\max_{k=1,2,\dots,p} (\min(\mu_{\Gamma_1}(x_i, z_k), \mu_{\Gamma_2}(z_k, y_j))) \right)_{m \times n} = \\ &= (\mu_{\Gamma_1 \circ \Gamma_2}(x_i, y_j))_{m \times n}, \end{aligned}$$

где p – число элементов множества B ; m – число элементов множества A ; n – число элементов множества C .

Построение модели оценки значимых скрытых влияний в системе откликов объектов при использовании нечетких бинарных соответствий распадается на два этапа:

- построение подмоделей A , включающей в себя множество имплицитных факторов, B , объединяющей множество опосредованных показателей, и C , включающей множество ключевых параметров;
- соединение подмоделей в общую модель, ее исследование и решение поставленной задачи.

К последовательности операций первого этапа можно отнести следующие действия:

- первичное определение набора числовых показателей для каждой подмодели;
- составление списков наборов числовых показателей.

Последовательность операций второго этапа включает в себя:

- оценки взаимовлияния показателей в парах: (\hat{A}, \hat{A}) , (\hat{A}, \tilde{N}) , (\hat{A}, \tilde{N}) ;
- нахождение опосредованных влияний показателей модели \hat{A} на показатели модели \tilde{N} ;
- интерпретация полученных результатов.

Отношения задаются матрицами J_{AB} , J_{BC} и J_{AC} для набора показателей A , B и C :

$$\begin{aligned}
A &= \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \\
B &= \{b_1, b_2, \dots, b_m\}, \\
C &= \{c_1, c_2, \dots, c_k\}, \\
J_{AB} &= \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1m} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & s_{nm} \end{pmatrix}, \\
J_{A\bar{N}} &= \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1k} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nk} \end{pmatrix}, \\
J_{BC} &= \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{m1} & u_{m2} & \dots & u_{mk} \end{pmatrix},
\end{aligned}$$

где $s_{ij} (0 \leq s_{ij} \leq 1; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$ – сила влияния показателя a_i на показатель b_j , $z_{ij} (0 \leq z_{ij} \leq 1; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k)$ – сила влияния показателя a_i на показатель c_j , $u_{ij} (0 \leq u_{ij} \leq 1; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, k)$ – сила влияния показателя b_i на показатель c_j .

Сила непосредственного влияния a_i на c_1 определена элементом z_{i1} матрицы J_{AC} . Аналогично, сила непосредственного влияния a_i на c_2, \dots, c_k задана числами z_{i2}, \dots, z_{ik} . Помимо непосредственного влияния показатель a_i оказывает на c_1, c_2, \dots, c_k влияние через элемент-посредник b_j – показатель подмодели \hat{A} . Силу опосредованного влияния a_i на c_1, c_2, \dots, c_k через b_j принимают равными величинам $z_{i1}^*, z_{i2}^*, \dots, z_{ik}^*$, которые есть минимумы s_{ij} и соответствующих $u_{j1}, u_{j2}, \dots, u_{jk}$.

$$\begin{aligned}
z_{i1}^* &= \min(s_{ij}, u_{j1}), z_{i2}^* = \min(s_{ij}, u_{j2}), \dots, z_{ik}^* = \\
&= \min(s_{ij}, u_{jk}).
\end{aligned}$$

Формула (12) определяет совокупное опосредованное влияние элемента a_i на \tilde{n}_j :

$$\begin{aligned}
z_{ij}^* &= \\
&= \max(\min(s_{i1}, u_{1j}), \min(s_{i2}, u_{2j}), \dots, \min(s_{im}, u_{mj})).
\end{aligned} \quad (12)$$

Произведение матриц J_{AB} и J_{BC} (формула (13)) показывает опосредованное влияние элементов множества A на элементы множества C через B :

$$J_{AC}^* = J_{AB} \cdot J_{BC} = \begin{pmatrix} z_{11}^* & z_{12}^* & \dots & z_{1k}^* \\ z_{21}^* & z_{22}^* & \dots & z_{2k}^* \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{n1}^* & z_{n2}^* & \dots & z_{nk}^* \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где z_{ij}^* находится по формуле (12).

Если сила непосредственного влияния A на C , определенного экспертами путем выполнения процедуры анализа иерархий, превосходит опосредованное влияние, то учитывать его не имеет смысла. Если же выполняется неравенство: $z_{ij}^* - z_{ij} > 0$, то обнаружено опосредованное и не учтенное экспертами влияние i -го имплицитного фактора на j -й результирующий показатель. Причем оценкой силы такого влияния можно считать разность $z_{ij}^* - z_{ij}$.

В результате с помощью композиции бинарных соответствий могут быть выявлены неявные, опосредованные связи и влияния между элементами множеств A и C при заданных соответствиях на множествах $A \times B$ и $B \times C$, а также идентифицированы факторы-посредники.

Описанный алгоритм автоматизирован и реализован в виде веб-сервиса, разработанного на платформе Joomla! 1.5 и написанного на языке PHP 3.1, и размещен на сайте <http://bi.usue.ru/nauka/imin/>. Последняя доступная версия 1.0.3 позволяет ввести исходные данные на естественном языке при помощи панели «нечеткого регулятора», провести анализ корректности внесенных значений, а также вывести результат с указанием имплицитного фактора и силы влияния.

Принципиальные возможности модели при работе с системой откликов некоторого объекта обеспечивают ее применимость в анализе широкого круга данных. Модель с использованием нечеткой импликации Гогена [13, с. 334] и дефазификации по методу центра тяжести [16; 17] была апробирована в исследовании системы откликов корпоративной культуры [6], военно-промышленного комплекса Российской Федерации [1] и показала высокую степень надежности (погрешность выявления значимых скрытых влияний не превышала 3% независимо от объекта исследования). Кроме того, как один из наиболее перспективных методов обнаружения и оценки имплицитных влияний рассмотренный алгоритм в ходе реализации механизма машинного обучения может быть применен в рамках решения задач адаптивного управления с применением искусственных нейронных сетей [1, с. 36; 3, с. 45].

III. Заключение

Итак, проблема выявления скрытых зависимостей и влияний, существующих между их элементами, в условиях повышающихся требований к описанию текущего и прогнозируемого состояния систем сохраняет свою актуальность. Моделирование объекта на основе анализа системы его откликов на сигнал представляет собой один из перспективных способов исследования в решении задач управления с целью получения необходимых показателей деятельности. Учитывая необходимость установления соответствующего сигнала канала связи, особого внимания при

реализации процесса построения модели заслуживает аппарат нечеткой логики, обладающий рядом критических преимуществ перед существующими методологическими подходами, обеспечивающих широкое применение нечетких систем в силу своей универсальности без снижения достоверности получаемых результатов.

Приведенная в работе нечеткая модель приспособлена для работы с откликами различных объектов исследования и обеспечивает возможность на основе композиции нечетких бинарных отношений, нечетких бинарных соответствий и интеллектуального анализа данных осуществить поиск значимых скрытых (имплицитных) влияний в системе откликов объектов. Описанный алгоритм позволяет выявить неочевидные элементы канала связи, а также оценить их влияние. Полученные результаты повышают адекватность оценки закономерностей поведения объекта.

IV. Литература

- [1] Азаров Д.А. К вопросу о моделировании экономического влияния военно-промышленного комплекса Российской Федерации на национальную экономику на современном этапе // ВІ-технологии в оптимизации бизнес-процессов: сб. ст. Междунар. науч.-практ. очно-заоч. конф. (Екатеринбург, 2 декабря 2015 г.). Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2015. С. 35-38.
- [2] Коваль Ю. А. и др. Моделирование систем частотно-временной синхронизации, использующих сигналы общих источников //Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2011. Т. 54. № 2. С. 12-21.
- [3] Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. 224 с.
- [4] Кузнецова Т.Р. Обработка видеоинформации в информационно-измерительных системах // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 9, ч. 1 С. 250-253.
- [5] Лефевр В.А., Смолян Г.Л. Алгебра конфликта. М.: Знание, 1968. 64 с.
- [6] Назаров Д.М. Модель оценки влияния имплицитных факторов на показатели деятельности организации // ВІ-технологии в оптимизации бизнес-процессов : сб. ст. Междунар. науч.-практ. очно-заоч. конф. (Екатеринбург, 2 декабря 2015 г.). Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2015. С. 29-34.
- [7] Назаров Д.М. Фундаментальные основы имплицитности в системе экономического развития организации // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2015. №3 (93). С. 7-14.
- [8] Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 248 с.
- [9] Седов А.В. Моделирование объектов с дискретно-распределенными параметрами: декомпозиционный подход. М.: Наука, 2010. 432 с.
- [10] Baars H. et al. Shaping the Next Incarnation of Business Intelligence //Business & Information Systems Engineering. 2014. Т. 6. № 1. С. 11-16.
- [11] Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function //Mathematics of control, signals and systems. 1989. Т. 2. № 4. С. 303-314.
- [12] De Reus N. M. Assessment of benefits and drawbacks of using fuzzy logic, especially in fire control systems. TNO-report №. FEL-93-A158. The Hague: TNO physics and economics laboratory, 1994. 39 с. С. 25-26.
- [13] Goguen J. A. The logic of inexact concepts //Synthese. 1969. Т. 19. № 3. С. 325-373.
- [14] Kosko B. Fuzzy systems as universal approximators //Computers, IEEE Transactions on Computers. 1994. Т. 43. № 11. С. 1329-1333.
- [15] Marz N., Warren J. Big Data: Principles and best practices of scalable realtime data systems. Greenwich, CT: Manning Publications Co., 2015. 455 с.
- [16] Mamdani E.H. Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plants // IEE. 1974. Т. 121. С. 1585-1588.
- [17] Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller //International journal of man-machine studies. 1975. Т. 7. № 1. С. 1-13.
- [18] Sandryhaila A., Moura J. M. F. Discrete signal processing on graphs: Frequency analysis //IEEE Transactions on Signal Processing. 2014. Т. 62. № 12. С. 3042-3054.