

Онтологический анализ экспертных данных в задаче формирования нечетких когнитивных карт

С.В. Смирнов¹

¹ Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Самара, Россия

Аннотация. Рассматривается проблема построения нечетких когнитивных карт. Ставится задача преодоления неполноты и противоречивости мнений у привлекаемых к разработке экспертов относительно состава концептов когнитивной карты и их взаимовлияния. Для решения предлагается применить модели и методы онтологического анализа данных. Данные экспертизы структурируются в форме соответствия «упорядоченные пары концептов – влияния»: учитываются концепты, указанные хотя бы одним экспертом, и для каждого эксперта фиксируется его мнение о влиянии первого концепта на второй. Мнение выражается путем выбора элемента из конечного множества лингвистических констант, отражающих реалии коллективной экспертизы. Взвешивание и интеграция мнений экспертов с помощью методов многозначной векторной логики позволяет сформировать нестрогое соответствие «упорядоченные пары концептов – влияния». Предлагается методика преобразования этого нестроого соответствия в непротиворечивое нечеткое. Здесь основная роль отводится разработанному в рамках онтологического анализа данных методу рационального порогового сечения нестроого соответствия, который способен учесть ограничения существования различных видов влияния для каждой пары концептов карты. Окончательно, агрегированные веса влияний дефазсифицируются известным методом центра тяжести.

Ключевые слова: нечеткая когнитивная карта, коллективная экспертиза, онтологический анализ данных, ограничения существования свойств.

DOI: 10.14357/20790279190410

Введение

Когнитивные карты – средство моделирования и анализа проблем, ситуаций, систем, толчком к развитию которого стали экспериментальные исследования в психологии. Нечеткие когнитивные карты (НКК) – результат эволюции простейшей математической модели когнитивной карты, предложенной Аксельродом [1]. Он одним из первых усмотрел возможность использования графов для описания восприятия людьми сложных слабо-структурированных ситуаций в политических и социальных системах. В НКК, введенных Коско [2], достигнуто (пусть неполное) сочетание этой идеи с нечеткой логикой и нейронными сетями. Этот подход сразу вызвал значительный научный интерес, и уже более сорока лет соответствующая методология моделирования сложных динамических систем активно развивается и широко приме-

няется в различных прикладных областях, таких как компьютерные науки, инженерия, науки об окружающей среде, поведенческие науки, медицина, бизнес, информационные системы и информационные технологии и т.д. (см., например, обзоры [3-7]). Есть основания рассматривать современные версии НКК в качестве платформы для объединения интеллектуального и когнитивного подходов в управлении сложными системами [8].

Большинство работ, связанных с НКК, сосредоточены на обсуждении моделей и методов анализа влияний по путям между вершинами-концептами карты, а также посвящены практическим применением НКК. Вместе с тем известно, что использование формальных вычислительных методов и технологий предшествует весьма трудоемкая экспертная работа по структурированию проблемных ситуаций (т.е. формирование системы концептов и связей

между ними), параметризации системы концептов и связей, выбору функций влияния. Специалисты единодушно отмечают, что наряду с несомненными достижениями в развитии математического аппарата анализа этап описания представлений о слабо структурированной динамической ситуации – *этап построения НКК экспертами* – слабо поддержан формальными моделями и методами [3-6; 9-12]. Особенно это касается вопросов увязки понимания разными экспертами анализируемой проблемной ситуации, когда создаваемая НКК является коллективным продуктом, и субъективное мнение одного эксперта другой эксперт может расценить как неверное или несущественное. Согласование знаний и мнений множества экспертов достигается при этом различными эвристическими и технологическими приемами, в большей или меньшей степени преодолевающими принятие решений простым большинством или волонтаристским вердиктом лидера. Например, в русле метода Дельфи предлагают многократно повторять и резюмировать работу экспертов с понижением на каждом шаге значимости мнения тех из них, чьи оценки значительно отличаются от суждений большинства [13]. Лидерство пытаются заменить координацией работы и поддержкой неформальных действий выделенного координатора современными программно-техническими средствами удаленного взаимодействия работников [14]. Стремятся реализовать интерсубъективное управление разработкой с присущим такому управлению дискурсом и стремлением к консенсусу [15].

В [16] для обработки данных, представляющих субъективные мнения экспертов о структурировании проблемной ситуации в форме когнитивных карт, предложено использовать модели и методы *онтологического анализа данных* (ОАД) [17-19] и показано их использование на примере формирования знакового графа Аксельрода. В данной работе исследуется тот же вопрос применительно к построению более сложной модели – НКК.

1. Гипотетико-дедуктивная природа онтологического анализа данных

Рисунок 1 объясняет сопряжение в ОАД *априорной* работы субъекта по выдвижению гипотез об изучаемой предметной области (ПрО) и последующего выполнения дедуктивных процедур обработки данных измерений, ведущей, в конечном счете, к построению формальной онтологии.

Планируя измерение у объектов исследуемой ПрО определенных свойств, субъект, осознавая или нет, выдвигает гипотезы о понятийной структуре, описывающей эту ПрО. Сложность возникающей

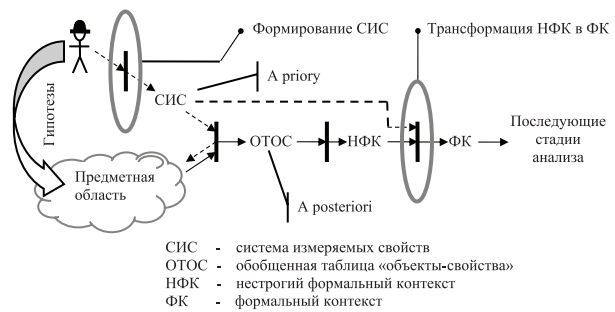


Рис. 1. Этапы онтологического анализа данных

системы гипотетических понятий определяется качеством и количеством актов мысленного *концептуального икалирования* [20] интересующих субъекта свойств объектов ПрО [21]. При этом на множестве подлежащих измерению свойств возникают два и только два экзистенциальных отношения: несовместимость и обусловленность, - определяющие согласно терминологии [22, с. 156] «ограничения существования» свойств у объектов ПрО.

В результате измерений формируется *обобщенная таблица «объекты-свойства»* (ОТОС), содержащая, вообще говоря, неполные и противоречивые данные [23]. Консолидация этих данных возможна лишь с помощью многозначных логик. Поэтому *формальный контекст* (ФК) ПрО - (G^*, M, I) , где G^* - выборка объектов, M - множество измеряемых у объектов свойств, I - эмпирически выявляемое соответствие «объекты-свойства», - будет в итоге «мягким» (нестрогим, нечетким). Конструктивная интерпретация таких апостериорных данных возможна лишь после трансформации «мягкого» ФК в однозначный. Трансформация будет корректной лишь при учете априорно зафиксированных ограничений существования свойств [17;18].

2. Формирование нечеткой когнитивной карты

НКК может быть описана кортежем (F, W) , где $F = (f)_{i,j=1,\dots,n}$ – множество вершин-концептов ситуации, $W = (w_{ij})_{i,j=1,\dots,n}$ – матрица каузальных связей графа, задающая одновременно смежность вершин и степень влияния вершин друг на друга.

Например, степень влияния может описываться экспертами лингвистически с использованием значений из множества $T = \{\text{«очень сильно негативно (nvs)»}, \text{«сильно негативно (ns)»}, \text{«негативно (nt)»}, \text{«слабо негативно (nw)»}, \text{«не влияет (z)»}, \text{«слабо позитивно (pw)»}, \text{«позитивно (pt)»}, \text{«сильно позитивно (ps)»}, \text{«очень сильно позитивно (pvs)»}\}$, где *каждое значение* - нечеткая переменная в универсуме [-1, 1] со своей функцией принадлежности [13].

Рассматривая задачу построения НКК в терминах ОАД, легко установить следующее:

- в качестве объектов интересующей нас ПрО выступают упорядоченные пары концептов $P = \{f_i, f_j\}$, где $f_i, f_j \in F, i \neq j$;
- актуальными семантическими суждениями в нашей ПрО будут независимые заключения экспертов о степени влияния i -го концепта на j -й;
- в соответствии с принципами построения канонической НКК ограничения существования свойств определяется лишь отношением несовместимости элементов множества T (см. рисунок 2).

Данные, поступившие от экспертов, составят ОТОС, структуру которой иллюстрирует табл. 1. Константа **X** указывает на наличие, а **None** – на отсутствие у объекта того или иного свойства (полагаем, что рациональный эксперт в каждой строке своего «ответа» отметит символом **X** только одну позицию, соответственно отмечая символом **None** все остальные, но в ОАД подобные ошибки, вообще говоря, не катастрофичны). Константа **NM** (*not measured*) указывает, что экспертом оценка соответствующего влияния не проводилась (например, потому, что в его оценке ситуации отсутствует один или оба описываемых в строке ОТОС концептов) и занимает, естественно, все позиции ответа эксперта. Константа **F** (*failure*) фиксирует наблюдаемый

на практике случай сомнения и отказа эксперта от определенной оценки влияния i -го концепта на j -й, и для данной задачи должна заполнять всю соответствующую строку ОТОС.

Для консолидации подобных неполных и противоречивых данных экспертизы необходимым балансом качеств обладает многозначная векторная логика V^{TF} , где истинность отдельного семантического суждения о ПрО b_{ij} оцениваться вектором «Истина, Ложь» [24] (рисунок 3):

$$\|b_{ij}\| = \langle b_{ij}^+; b_{ij}^- \rangle; b_{ij}^+, b_{ij}^- \in [0, 1].$$

Нестрогое соответствие «упорядоченная пара концептов – влияние по мнению разных экспертов» получается путем преобразования ОТОС, когда смысловой интерпретацией значений **X**, **None**, **NM** и **F** служат истинностные константы V^{TF} -логики $\langle 1; 0 \rangle$ «Истина», $\langle 0; 1 \rangle$ «Ложь», $\langle 0; 0 \rangle$ «Неопределенность», $\langle 0,5; 0,5 \rangle$ «Недоопределенность» соответственно (см. рисунок 3). Совмещение векторных оценок истинности интересующих нас семантических суждений о ПрО по приемлемым в контексте рассматриваемой задачи правилам векторной логики (см. [17; 24]) определит нестрогий формальный контекст задачи построения НКК по результатам коллективной экспертизы: (P, T, I) , где

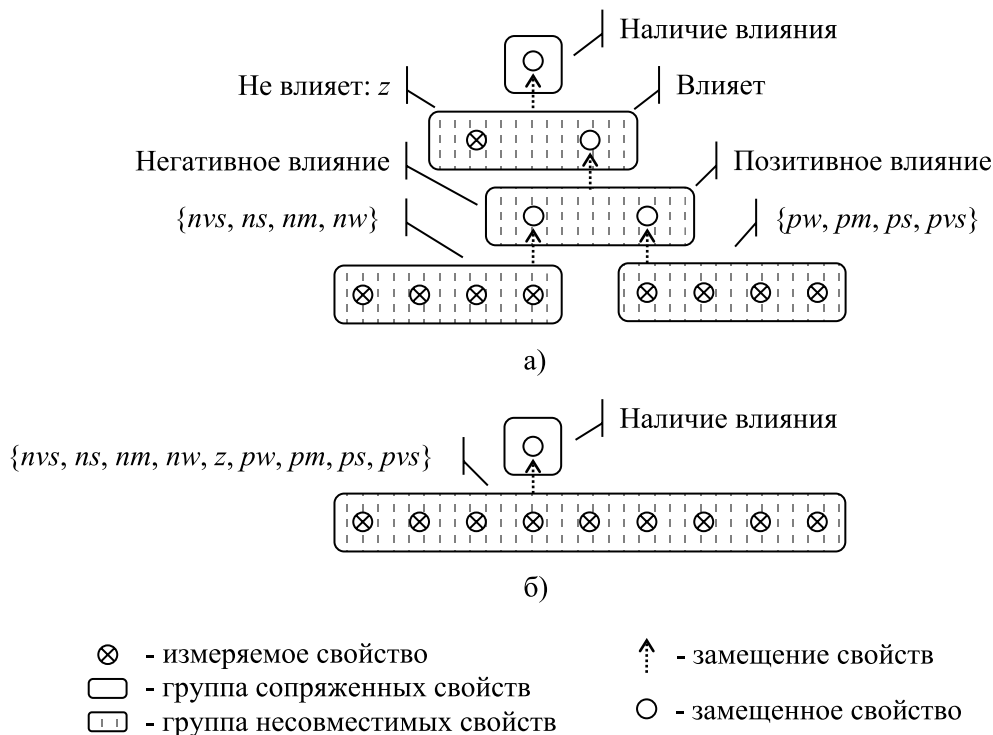


Рис. 2. Модель системы измеряемых свойств в задаче построения когнитивной карты:
 а) многоуровневая структура, соответствующая логике выдвижения гипотез;
 б) вид после эквивалентных преобразований

Табл. 1

Данные коллективной экспертизы влияний одних концептов на другие

	Expert 1				...	Expert k			
	nvs	ns	...	pvs		nvs	ns	...	pvs
(f_1, f_2)	None	X		None		NM	NM		NM
(f_1, f_3)	F	F		F		NM	NM		NM
...					...				
(f_n, f_{n-1})	None	None		X		F	F		F

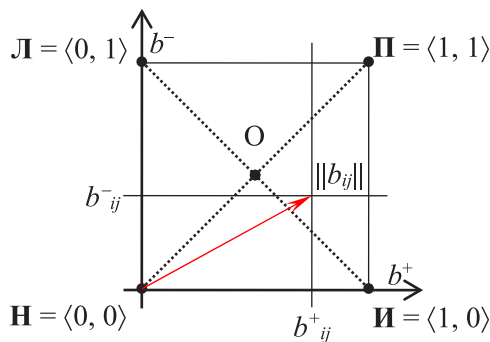


Рис. 3. Вектор истинности $||b_{ij}||$ и истинностные константы V^{TF} -логики: **И** – «Истина», **Л** – «Ложь», **Н** – «Неопределенность», **П** – «Противоречие», **О** – «Недоопределенность»

$I \subseteq P \times T$ – нестрогое соответствие «упорядоченная пара концептов – влияние».

Стандартное альфа-сечение $I^{(\alpha)}$ – однозначное (строгое) соответствие «упорядоченная пара концептов – влияние» при пороге доверия к данным экспертизы $\alpha = \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle$, $\alpha^+, \alpha^- \in [0, 1]$, – в общем случае не будет корректным из-за игнорирования экзистенциальных отношений на множестве измеряемых свойств. Поэтому в ОАД разработан метод рационального альфа-сечения «мягких» ФК, доставляющий сечение $\tilde{I}^{(\alpha)}$, в котором учитываются ограничения существования свойств у объектов исследуемой ПрО [18]:

- при формировании $\tilde{I}^{(\alpha)}$ происходит дискриминация тех семантических суждений, которые, отражая мнение некоторой части экспертов, противоречат другим имеющимся суждениям с большими оценками истинности;
- указанная дискриминация производится лишь локально, для суждений относительно отдельно взятого объекта $(f_i, f_j) \in P$ и отдельно для групп сопряженных свойств.

В задаче построения НКК этот метод ОАД применяется в особом режиме: не учитываются несовместимых «листовых» свойств модели СИС (см. рисунок 2а), т.к. на последующих этапах выявления степени влияния между факторами имеется возможность интеграции всех степеней позитивного или негативного влияния.

Кроме того, рассматриваемый метод модернизируется так, чтобы вместо однозначного отношения $\tilde{I}^{(\alpha)}$ сформировать нечеткое соответствие $\tilde{I}^{(\alpha)}$:

- отсекаемые векторные оценки трансформируемого соответствия I как обычно заменяются нулями;
- векторные оценки $\langle b^+_{ij}; b^-_{ij} \rangle$, которые по логике альфа-сечения должны были бы замещены единицей, сохраняются, а затем замещаются нечеткой оценкой

$$v_{ij} = \frac{b^+_{ij} - b^-_{ij} + 1}{\sqrt{2}}$$

(этот прием замещения, который нетрудно обосновать при сопоставлении областей существования оценок истинности в V^{TF} и нечеткой логиках, ведет, тем не менее, к определенной потере информации, т.к. функция $(v_{ij} \rightarrow \langle b^+_{ij}; b^-_{ij} \rangle)^{-1}$ многозначна).

В получаемом контексте $(P, T, \tilde{I}^{(\alpha)})$ могут быть обнаружены пустые строки для всех объектов (f_i, f_j) и (f_j, f_i) , $i=1, \dots, n$. Это означает, что при выбранном пороге доверия к данным экспертизы концепт f_j оказывается незначимым для структурирования проблемной ситуации, и указанные объекты должны быть исключены из контекста задачи.

Контекст $(P^-, T, \tilde{I}^{(\alpha)})$, где P^- – редуцированное указанным выше способом множество пар значимых концептов, содержит все сведения для формирования НКК (F, W) :

- множество F извлекается непосредственно из P^- ;

- редукция соответствия $\tilde{I}^{(a)}$ до двух столбцов, когда позитивные и, отдельно, негативные оценки влияния различной степени дефазифицируются известным методом центра тяжести, определяет все необходимые данные для построения матрицы W .

Заключение

К достоинствам предложенного подхода к построению НКК следует отнести простоту алгоритмизации, формирование результата за один проход (по одновременно полученным данным экспертизы), отсутствие какой-либо искусственной маргинализации отдельных экспертов (дискриминация мнений полностью локализована в задаче оценки влияния пары конкретных факторов).

Следует также отметить, что ОТОС, интегрирующая данные экспертизы, может иметь более богатую структуру, чем было описано. Дополнительно в нем могут быть зафиксированы и обработаны априорные степени доверия к отдельным экспертам, независимые серии оценок одного и того же эксперта (возникающие, например, в результате нескольких его «подходов» к задаче), причем при различном количестве серий «измерений» у каждого эксперта и отличающейся достоверности данных, фиксируемых в каждой серии [17; 23].

Адаптацию предложенной методики для НКК, допускающих позитивные и негативные влияния одного концепта на другой при динамическом моделировании [2], целесообразно осуществлять на основе формального описания НКК, предложенного Силовым [25]. При этом построение адекватной СИС должно опираться на имеющиеся в этой модели ограничения на заполнение клеток матрицы влияний W^{\pm} [5; 6; 25].

Литература

1. *Axelrod R.* Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton University Press, 1976. 395 p.
2. *Kosko B.* Fuzzy cognitive maps // International Journal of Man-Machine Studies. 1986. 24(1). P. 65-75.
3. *Papageorgiou E., Salmeron J.* A Review of Fuzzy Cognitive Map Research at the Last Decade // IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2013. 21(1). P. 66-79.
4. *Glykas M.* Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications (Introduction). 2010. Vol. 247. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. P. IX-XV.
5. *Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С.* Нечеткие модели и сети М.: Горячая линия–Телеком, 2007. 284 с.
6. *Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Марковский А.В.* Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт. В кн.: Н.А. Абрамова, К.С. Гинсберг, Д.А. Новиков (ред.) Человеческий фактор в управлении. М.: КомКнига, 2006. С. 313-344.
7. *Aguilar J.* A survey about fuzzy cognitive maps papers (Invited paper) // Int. J. Computational Cognition, 2005. 3(27). P. 27-33.
8. *Groumpos P.P.* Intelligence and Fuzzy Cognitive Maps: Scientific Issues, Challenges and Opportunities // Studies in Informatics and Control. 2018. 27(3). P. 247-264.
9. *Кулинич А.А.* Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления, 2010. №3. С. 2-16.
10. *Stach V., Kurgan L., Pedrycz W.* Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps / In Glykas M. (Ed.): Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications. Vol. 247. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. P. 23-41.
11. *Абрамова Н.А., Коврига С.В.* Некоторые критерии достоверности моделей на основе когнитивных карт // Проблемы управления. 2008. №6. С. 23-33.
12. *Schneider M., Shnaider E., Kandel A., Chew G.* Automatic construction of FCMs // Fuzzy Sets System. 1998. Vol. 93(2). P. 161-172.
13. *Stylios D.C., Groumpos P.P.* Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps // IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. Part A: Systems and Humans. 2004. 34. P. 155-162.
14. *Коротелёв Д.А., Лагерева Д.Г., Подвесовский А.Г.* Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА» // Труды XI нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008 (28 сентября-03 октября, Дубна, Россия). Т. 3. М.: ЛЕНАНД, 2008. С. 329-336.
15. *Vittikh V.A.* Introduction to the Theory of Intersubjective Management // Group Decision and Negotiation. 2015. 24(1). P. 67-95.
16. *Смирнов С.В.* Модели и методы формирования когнитивных карт при их коллективной разработке // Труды VI междунар. науч. конф. «Информационные технологии и системы ИТиС-2017» (1-5 марта 2017 г., Банное, Россия). Ред.: Ю.С. Попков, А.В. Мельников. - Челябинский гос. ун-т, 2017. С. 281-283.

17. *Смирнов С.В.* Многозначная и нечеткая логики в онтологическом анализе данных // Труды III междунар. науч. конф. «Информационные технологии и системы ИТиС-2014» (26 февраля - 2 марта 2014 г., Банное, Россия). Ред.: Ю.С. Попков, А.В. Мельников. Челябинский гос. ун-т, 2014. С. 90-91.
18. *Коварцев А.Н., Смирнов В.С., Смирнов С.В.* Интеллектуализация формирования контекста для вывода понятийной структуры предметной области // Труды IV междунар. науч. конф. «Информационные технологии и системы ИТиС-2015» (25 февраля - 1 марта 2015 г., Банное, Россия). Ред.: Ю.С. Попков, А.В. Мельников. Челябинский гос. ун-т, 2015. С. 82-83.
19. *Oficerov V.P., Smirnov S.V.* Fuzzy formal concept analysis in the construction of ontologies // Онтология проектирования. 2017. Т. 7, №4(26). С. 487-495.
20. *Ganter B., Wille R.* Conceptual scaling. / In: F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. N.Y.: Springer-Verlag, 1989. P. 139-167.
21. *Самойлов Д.Е., Семенова В.А., Смирнов С.В.* Фрактальность ограничений сосуществования свойств в задачах машинного обучения // Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» ИТНТ-2018. Самара: Новая техника, 2018. С. 2512-2518.
22. *Lammari N., Metais E.* Building and maintaining ontologies: a set of algorithms // Data & Knowledge Engineering. 2004. Vol. 48(2). P. 155-176.
23. *Smirnov S.V.* Biconstituent phenomenon of information and cognitive data analysis // Procedia Engineering. 2017. Vol. 201. P. 773-778.
24. *Аришинский Л.В.* Векторные логики: основания, концепции, модели. Иркутский гос. ун-т, 2007. 228 с.
25. *Силов В.Б.* Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.

Смирнов Сергей Викторович. Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Самара, Россия. Главный научный сотрудник, доктор технических наук. Количество печатных работ: более 150 (в т.ч. 1 монография). Область научных интересов: анализ данных, искусственный интеллект, информационные технологии. Email: smirnov@iccs.ru

Fuzzy cognitive maps formation based on ontological analysis of expert data

S.V. Smirnov¹

¹Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia

Abstract. The problem of constructing fuzzy cognitive maps is considered. The task is to overcome the incompleteness and inconsistency of engaged experts opinions regarding the concepts composition of the cognitive map and their mutual influence. To solve the problem, it is proposed to apply models and methods of ontological data analysis. The expertise data is structured in the form of a correspondence “ordered pairs of concepts - influences”: the concepts specified by at least one expert are taken into account, and the opinion of each expert about the influence of the first concept on the second is fixed. Opinion is expressed by selecting an element from a finite set of linguistic constants, which reflect the realities of expert data. Weighing and integrating of the experts opinions using the methods of multi-valued vector logic allows us to form a non-strict correspondence “ordered pairs of concepts - influences”. A technique is proposed for converting this non-strict correspondence into a self-consistent fuzzy one. The main role here is given to the method of rational threshold section of non-strict correspondence developed in the framework of ontological analysis of data. This method is able to take into account the existence constraints of different types of influence for each pair of map concepts. Finally, the aggregated influence weights are defuzzified by the well-known center of gravity method.

Keywords: *fuzzy cognitive map, expert data, ontological data-analysis, properties existence constraints*

DOI: 10.14357/20790279190410

References

1. *Axelrod, R.* 1976. Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton University Press. 395 p.
2. *Kosko, B.* 1986. Fuzzy cognitive maps. International Journal of Man-Machine Studies. 24(1): 65-75.
3. *Papageorgiou, E. and J. Salmeron.* 2013. A Review of Fuzzy Cognitive Map Research at the Last Decade. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 21(1): 66-79.
4. *Glykas, M.* 2010. Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications (Introduction). 247. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. IX-XV.
5. *Borisov, V.V., V.V. Kruglov, and A.S. Fedulov.* 2007. Nechetkiye modeli i seti [Fuzzy Models and Networks]. Moscow: Hot Line – Telecom Publ. 284 p.
6. *Kuznetsov, O.P., A.A. Kulnich, and A.V. Markovskiy.* 2006. Analiz vliyaniy pri upravlenii slabostrukturovannymi situatsiyami na osnove kognitivnykh kart. [Analysis of influences in the management of poorly structured situations based on cognitive maps]. In: Abramova N.A., K.S. Ginsberg, and D.A. Novikov (Eds.). The human factor in management. Moscow: KomKniga Publ. 313-344.
7. *Aguilar, J.* 2005. A survey about fuzzy cognitive maps papers (Invited paper). Int. J. Computational Cognition. 3(27): 27-33.
8. *Groumos, P.P.* 2018. Intelligence and Fuzzy Cognitive Maps: Scientific Issues, Challenges and Opportunities. Studies in Informatics and Control. 27(3): 247-264.
9. *Kulnich, A.A.* 2010. Komp'yuternyye sistemy modelirovaniya kognitivnykh kart: podkhody i metody [Software for modeling cognitive maps: approaches and methods]. Problemy upravleniya [Control science]. 3: 2-16.
10. *Stach, V., L. Kurgan and W. Pedrycz.* 2010. Expert-Based and Computational Methods for Developing Fuzzy Cognitive Maps. In Glykas, M. (Ed.) Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications. 247: 23-41.
11. *Abramova, N.A. and S.V. Kovriga.* 2008. Nekotoryye kriterii dostovernosti modeley na osnove kognitivnykh kart. [Some criteria of reliability of models based on cognitive maps]. Problemy upravleniya [Control science]. 6: 23-33.
12. *Schneider, M., E. Shnaider, A. Kandel, and G. Chew.* 1998. Automatic construction of FCMs. Fuzzy Sets System. 93(2): 161-172.
13. *Stylios, D.C., and P.P. Groumos.* 2004. Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. Part A: Systems and Humans. 34: 155-162.
14. *Korostelev, D.A., D.G. Lageryov and A.G. Podvesovskiy.* 2008. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy na osnove nechetkikh kognitivnykh modeley "IGLA" [Decision support system based on fuzzy cognitive models "IGLA"]. Trudy XI natsional'noy konferentsii po iskusstvennomu intellektu KII-2008 [Proc. of the XI national conf. on artificial intelligence KII-2008] (September 28-October 03, 2008, Dubna, Russia). Vol. 3. Moscow: LENAND Publ. 329-336.
15. *Vitikh, V.A.* 2015. Introduction to the Theory of Intersubjective Management. Group Decision and Negotiation. 24(1): 67-95.
16. *Smirnov, S.V.* 2017. Modeli i metody formirovaniya kognitivnykh kart pri ikh kollektivnoy razrabotke [Models and methods for the formation of cognitive maps in collective development] Trudy VI mezhdunarodnoy nauch. konf. "Informatsionnyye tekhnologii i sistemy ITiS-2017" [Proc. of the VI Int. scientific conf. "Information Technologies and Systems ITiS-2017"] (March 1-5, 2017, Bannoe, Russia). Eds.: Popkov Yu.S., and A.V. Melnikov. Chelyabinsk State University. 281-283.
17. *Smirnov, S.V.* 2014. Mnogoznachnaya i nechetkaya logika v ontologicheskom analize dannykh [Multi-valued and fuzzy logic in ontological data analysis]. Trudy III mezhdunarodnoy nauch. konf. "Informatsionnyye tekhnologii i sistemy ITiS-2014" [Proc. of the III Int. scientific conf. "Information Technologies and Systems ITiS-2014"] (February 26 - March 2, 2014, Bannoe, Russia). Eds.: Popkov Yu.S., and A.V. Melnikov. Chelyabinsk State University. 90-91.
18. *Kovartsev, A.N., V.S. Smirnov, and S.V. Smirnov.* 2015. Intellektualizatsiya formirovaniya konteksta dlya vyvoda ponyatiynoy struktury predmetnoy oblasti [Context formation for the conceptual structure elicitation of the subject area]. Trudy IV mezhdunarodnoy nauch. konf. "Informatsionnyye tekhnologii i sistemy ITiS-2015" [Proc. of the IV Int. scientific conf. "Information Technologies and Systems ITiS-2015"] (February 25 - March 1, 2015, Bannoe, Russia). Eds.: Popkov Yu.S., and A.V. Melnikov. Chelyabinsk State University. 82-83.
19. *Oficerov, V.P., and S.V. Smirnov.* 2017. Fuzzy formal concept analysis in the construction of ontologies. Ontologiya proyektirovaniya [Ontology of Designing]. 7(4): 487-495.
20. *Ganter, B., and R. Wille.* 1989. Conceptual scaling. In: F. Roberts (Ed.): Applications of Combinatorics

- and Graph Theory to the Biological and Social Sciences. – N.Y.: Springer-Verlag. 139-167.
21. *Samoilov, D.E., V.A. Semenova, and S.V. Smirnov.* 2018. Fraktal'nost' ogranicheniy sosushchestvovaniya svoystv v zadachakh mashinnogo obucheniya [Fractality of the object's properties existence constraints in machine learning]. Sbornik trudov IV mezhdunarodnoy konferentsii i molodezhnoy shkoly «Informatsionnyye tekhnologii i nanotekhnologii» ITNT-2018 [Proc. of the IV international conference and youth school "Information Technologies and Nanotechnologies" ITNT-2018] (April 24-27, 2018, Samara, Russia). Samara: New Technique Publs. 2512-2518.
 22. *Lammari, N., and E. Metais.* 2004. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms. *Data & Knowledge Engineering*. 48(2): 155-176.
 23. *Smirnov, S.V.* 2017. Biconstituent phenomenon of information and cognitive data analysis. *Procedia Engineering*. 201: 773-778.
 24. *Arshinsky, LV.* 2007. Vektornyye logiki: osnovaniya, kontseptsii, modeli [Vector Logics: Foundations, Concepts, and Models]. Irkutsk: Irkutsk State University. 228 p.
 25. *Silov, V.B.* 1995. Prinyatiye strategicheskikh resheniy v nechetkoy obstanovke [Strategic decisions making in a fuzzy environment]. Moscow: INPRO-RES Publs. 228 p.

S.V. Smirnov. D. Sc. Eng., Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, Samara, Russia, 61 Sadovaya str., Samara, 443020, Russia, e-mail: smirnov@iccs.ru