

Верификация причинно-следственных связей в когнитивных моделях на основе применения метафор визуализации нечетких когнитивных карт

Р.А. Исаев¹, А.Г. Подвесовский²

Брянский государственный технический университет

¹ ORCID: 0000-0003-3263-4051, ruslan-isaev-32@yandex.ru

² ORCID: 0000-0002-1118-3266, apodv@tu-bryansk.ru

Аннотация

В статье представлено продолжение исследований авторов в области визуализации когнитивных моделей, основанных на нечетких когнитивных картах. Рассмотрено применение метафор визуализации нечетких когнитивных карт для верификации причинно-следственных связей в когнитивных моделях. Показано, что повышение эффективности верификации возможно путем активизации когнитивного потенциала аналитика. Наиболее естественным способом такой активизации является повышение когнитивной ясности модели за счет использования возможностей визуализации. С этой целью предложен ряд метафор визуализации нечетких когнитивных карт, направленных на повышение их когнитивной ясности в ходе верификации. Каждая из метафор ориентирована на визуализацию определенного типа фрагментов нечеткой когнитивной карты, потенциально содержащих ошибки, избыточность или неполноту и потому представляющих интерес с точки зрения верификации. Приведены примеры применения предложенных метафор визуализации.

Ключевые слова: нечеткая когнитивная карта, визуализация графов, когнитивная ясность, метафора визуализации, верификация когнитивных моделей.

1. Введение

Настоящая работа продолжает серию публикаций материалов исследований авторов в области визуализации когнитивных моделей, основанных на нечетких когнитивных картах (НКК). НКК отражает субъективное представление исследователя о системе в виде множества семантических категорий (называемых факторами или концептами) и набора причинно-следственных связей между ними [1]. Таким образом, НКК допускает наглядное представление в виде взвешенного ориентированного графа, вершины которого соответствуют концептам, а дуги – причинно-следственным связям.

Одним из условий эффективной работы с когнитивной моделью является обеспечение ее визуального представления. Подход к визуализации НКК, основанный на понятии метафоры визуализации, был предложен авторами в работах [2, 3]. Метафора визуализации традиционно включает в себя две составляющие: пространственную метафору и метафору представления [4].

Пространственная метафора определяет общие принципы переноса визуализируемого объекта в пространство визуальной модели. Применительно к НКК, такая метафора строится на основе алгоритмов визуализации графов и формализованных критериев когнитивной ясности [3]. Данные критерии описывают требования к качеству визуального образа НКК, соблюдение которых упрощает визуальное восприятие когнитивной модели аналитиком. Это приводит к общему увеличению скорости работы с

моделью, а также способствует снижению числа ошибок, допускаемых на различных этапах моделирования.

Метафора представления, применяемая далее, отвечает за доработку полученного визуального образа с целью выделения его составляющих, наиболее важных в контексте решаемой задачи. При визуализации НКК применяется ряд различных метафор представления, учитывающих потребности аналитика на разных этапах когнитивного моделирования.

В работе исследуются возможности визуализации НКК при решении одной из важных задач когнитивного моделирования – задачи верификации когнитивной модели. В основу исследования положена гипотеза о повышении эффективности верификации причинно-следственных связей в когнитивной модели за счет повышения когнитивной ясности визуального образа соответствующей НКК.

2. Задача верификации когнитивных моделей

Верификация когнитивных моделей является одним из важнейших этапов их построения – от успешного выполнения верификации во многом зависит достоверность результатов последующего моделирования. Задача верификации когнитивной модели направлена на выявление возможного ее несоответствия самой моделируемой системе. Подобное несоответствие может выражаться в следующих основных формах.

1. В составе когнитивной модели могут отсутствовать концепты, отражающие важные параметры моделируемой системы, или, наоборот, могут присутствовать избыточные концепты, не являющиеся важными по отношению к цели моделирования.

2. Множество причинно-следственных связей, заданных на множестве концептов, может характеризоваться как неполнотой, так и избыточностью.

3. Могут быть допущены ошибки при задании параметров причинно-следственных связей (направление, знак, интенсивность).

Методы поиска и устранения несоответствий первого типа требуют от экспертов высокой квалификации и глубокого понимания предметной области и, как правило, наиболее сложны для формализации. Одним из возможных подходов здесь может являться онтологический инжиниринг [5].

Ошибки, допущенные при параметрической идентификации модели (третий тип несоответствия), являются наименее очевидными для обнаружения и чаще всего могут быть выявлены уже непосредственно по результатам моделирования, на основании анализа их правдоподобности [6]. Вместе с тем, определенный контроль достоверности параметров связей НКК может выполняться в рамках самих методов идентификации [7].

Предлагаемое исследование фокусируется на втором типе несоответствия, как наиболее простом для применения формальных методов верификации. Кроме того, как будет показано далее, в этом случае становится возможным эффективное сочетание формальных методов с методами, основанными на активизации когнитивных возможностей аналитика [8].

3. Общая методика верификации причинно-следственных связей в когнитивных моделях

Опишем предлагаемую методику верификации когнитивных моделей, ориентированную на выявление и устранение ошибок на множестве причинно-следственных связей и основанную на применении алгоритмов поиска на графах и метафор визуализации НКК. На рис. 1 представлен обобщенный алгоритм, реализующий данную методику.



Рис. 1. Обобщенный алгоритм верификации причинно-следственных связей в когнитивной модели с применением метафор визуализации НКК

На первом этапе осуществляется поиск в составе НКК всех структурных элементов, представляющих интерес с точки зрения верификации причинно-следственных связей в когнитивной модели. Отметим, что методика инвариантна относительно конкретных типов структурных элементов, принимаемых во внимание. В настоящей работе подробно рассматриваются структурные элементы трех типов.

При выявлении избыточности множества связей наиболее важными для анализа являются такие типы элементов структуры когнитивного графа, как ориентированные циклы и пары транзитивных путей. Значимость ориентированных циклов обусловлена тем, что они, представляя собой контуры обратной связи, в ряде случаев могут приводить к нарушению устойчивости когнитивной модели в ходе ее сценарного анализа. Пары транзитивных путей отражают наличие альтернативных механизмов передачи влияния между концептами. Такие механизмы должны быть оценены аналитиком, с одной стороны, на предмет взаимной непротиворечивости, а с другой стороны, на предмет целесообразности их совместного отражения в модели.

Задача поиска ориентированных циклов и пар транзитивных путей в составе НКК относится к типовым задачам теории графов. Среди ряда возможных способов ее решения наибольший практический интерес представляет способ, описанный ниже.

1. Выполняется поиск всех циклов в неориентированном графе, который может быть поставлен в соответствие рассматриваемой НКК (путем устранения ориентированности дуг). Этот поиск может быть осуществлен на основе алгоритма поиска в глубину [9].

2. Для каждого из найденных неориентированных циклов необходимо установить, соответствует ли он ориентированному циклу или паре транзитивных путей в исходной НКК. С этой целью может быть использован алгоритм, состоящий из следующих шагов.

- 2.1. Выбор в найденном цикле любой вершины, из которой имеется хотя бы одна исходящая дуга.
- 2.2. Переход к следующей вершине по данной исходящей дуге.
- 2.3. Продолжение обхода цикла в изначально выбранном направлении. При этом фиксируется каждый случай смены направления очередной дуги относительно выбранного направления обхода, и подсчитывается количество таких случаев.
- 2.4. Обход заканчивается при возвращении в исходную вершину. Если за время обхода не было зафиксировано ни одного случая смены направления дуг, то найден ориентированный цикл. Если были зафиксированы один или два случая, то найдена пара транзитивных путей.

Как было сказано ранее, множество связей между концептами может характеризоваться не только избыточностью, но и неполнотой, под которой понимается отсутствие необходимых связей. Здесь необходимо отметить, что отсутствие в когнитивном графе ориентированных путей между некоторыми парами концептов является вполне типичной ситуацией при построении когнитивной модели. Как следствие, изменения состояний некоторых концептов даже в долгосрочной перспективе не будут оказывать влияния на состояния ряда других концептов. С позиции предметной интерпретации это означает причинно-следственную независимость соответствующих параметров моделируемой системы друг от друга, что является вполне допустимым. Тем не менее, в ряде случаев пропуск связи при построении НКК происходит по ошибке, и такие ситуации требуют обнаружения и исправления.

Пары концептов, между которыми отсутствуют ориентированные пути, могут быть легко выявлены на основании операции транзитивного замыкания когнитивной матрицы, соответствующей рассматриваемой НКК. Признаком отсутствия пути между концептами является равенство нулю соответствующего элемента транзитивно-замкнутой матрицы.

Таким образом, в результате выполнения первого этапа обобщенного алгоритма формируется множество структурных элементов НКК трех типов: ориентированные циклы, пары транзитивных путей, отсутствующие пути между концептами. Далее эти элементы должны быть рассмотрены аналитиком на предмет необходимости их корректировки. При этом практически всегда, в силу большого объема сформированного множества, а также из соображений эффективного использования доступного времени, возникает необходимость задания порядка предъявления его элементов аналитику, что соответствует *второму этапу* обобщенного алгоритма.

При определении указанного порядка, помимо субъективных предпочтений самого аналитика, необходимо принимать во внимание объективные факторы, характеризующие значимость конкретного структурного элемента в контексте верификации данной когнитивной модели.

Так, в случае с ориентированными циклами, целесообразно учитывать, что риск нарушения устойчивости НКК в первую очередь обусловлен наличием циклов с положительным весом (под весом цикла понимается произведение весов входящих в него влияний): концепты в составе такого цикла имеют тенденцию усиливать свои собственные изменения состояний. При наличии нескольких таких циклов приоритет следует отдавать циклам с наибольшим весом.

По аналогии с циклами, любому ориентированному пути в графе также может быть приписан вес, определенный подобным образом. Путь с положительным весом соответствует механизму усиления одного концепта другим, а с отрицательным весом – механизму ослабления. Таким образом, пара транзитивных путей может описываться как противоречивые, так и подтверждающие друг друга (и потому, вероятно, избыточные) цепочки влияний одного концепта на другой. Очевидно, в контексте верификации наибольшую значимость имеют пары, включающие пути с наибольшим по абсолютной величине весом.

При анализе найденных пар не связанных между собой концептов, наибольший приоритет целесообразно отдавать таким парам, добавление связи между которыми окажет наиболее существенное влияние на результаты моделирования. Этот вопрос будет разобран более подробно на конкретном примере в следующем разделе.

Используя заданный порядок, на заключительном, *третьем этапе* обобщенного алгоритма найденные структурные элементы НКК предъявляются аналитику, при этом для каждого типа структурного элемента используется своя метафора визуализации НКК. Рассмотрим эти метафоры подробнее.

4. Метафоры визуализации нечетких когнитивных карт, применяемые в процессе верификации причинно-следственных связей в когнитивных моделях

Рассмотрим некоторые метафоры визуализации НКК, которые могут быть использованы в процессе верификации причинно-следственных связей в когнитивных моделях. Эффект от применения этих и других подобных метафор состоит в повышении когнитивной ясности верифицируемых моделей, что будет способствовать активизации когнитивных способностей аналитика при решении ряда конкретных задач в рамках верификации. Для иллюстрации результатов применения предлагаемых метафор будем использовать НКК, представленную на рис. 2.

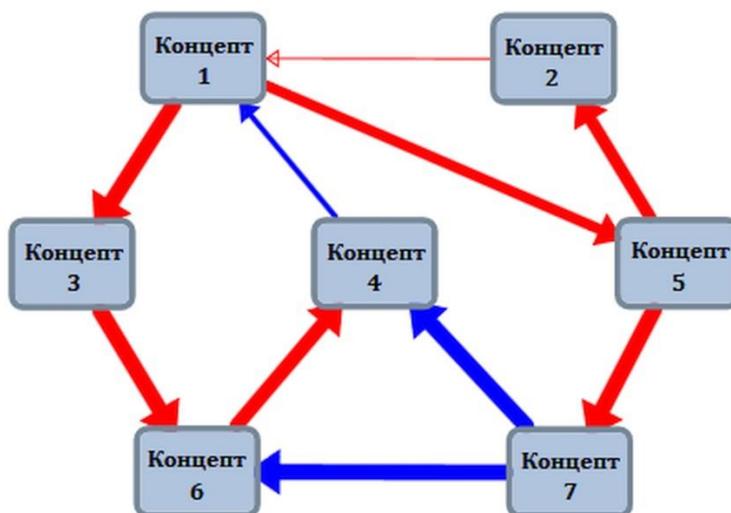


Рис. 2. Пример НКК, подлежащей верификации

4.1. Визуализация ориентированных циклов

Рассмотрим метафору визуализации, предназначенную для отображения ориентированных циклов, найденных в составе НКК. Пусть для визуализации задан один из циклов. Суть пространственной составляющей данной метафоры состоит в изображении НКК таким образом, чтобы на множестве дуг, входящих в заданный цикл, был максимизирован критерий однонаправленности последовательных дуг. Говоря менее формально, метафора стремится разместить вершины когнитивного графа так, чтобы обеспечить однонаправленное изображение как можно большего числа дуг в составе цикла. Замечено [10], что такое размещение способствует охвату цикла «одним взглядом». При этом в качестве приоритетного направления (т.е. направления большинства дуг) целесообразно выбирать направление «слева-направо» либо «сверху-вниз», что обусловлено требованием также учитываемого критерия оптимизации направлений дуг [3].

Особенность соответствующей метафоры представления состоит в концентрации внимания аналитика непосредственно на рассматриваемом цикле. Простым решением

этой задачи могло бы стать полное отсутствие изображения «лишних» участков НКК. Однако такой подход имеет очевидный недостаток, состоящий в удалении из восприятия аналитика полезного для верификации контекста. Поэтому более рациональным решением представляется изобразить все элементы НКК, не входящие в цикл, полупрозрачными. Также следует отметить целесообразность индивидуальной настройки степени прозрачности с учетом особенностей восприятия конкретного аналитика.

На рис. 3 приведен пример применения данной метафоры к тестовой НКК при визуализации цикла «1-5-7-6-4-1». Легко видеть, что перестройка изображения НКК значительно лучше (по сравнению с исходной метафорой) способствует привлечению внимания аналитика к выделенному циклу. Это позволяет говорить о повышении когнитивной ясности модели в контексте рассматриваемой задачи.

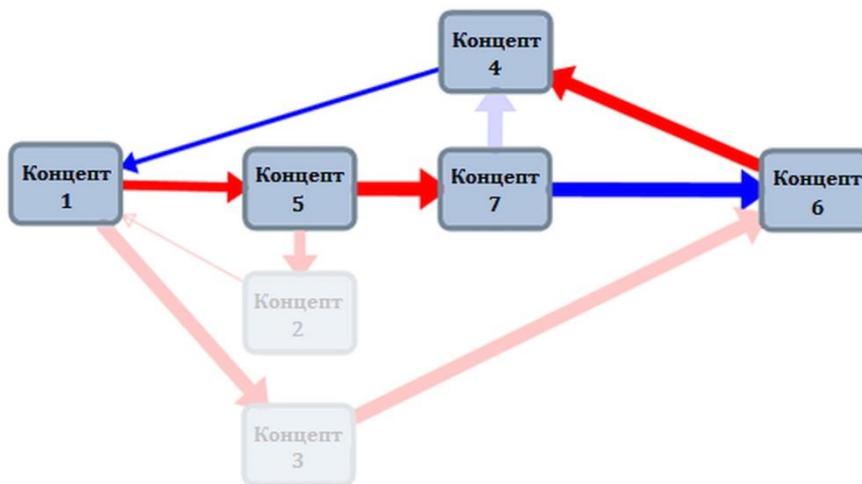


Рис. 3. Пример применения метафоры визуализации циклов

4.2. Визуализация пар транзитивных путей

Следующая метафора визуализации предназначена для изображения пар транзитивных путей между концептами. Как и в предыдущем случае, пространственная составляющая данной метафоры учитывает критерий однонаправленности последовательных дуг, но дополнительно по возможности максимизирует симметричность подграфа, подлежащего визуализации [3]. Метафора представления, по аналогии с предыдущим случаем, использует эффект полупрозрачного изображения «лишних» участков графа для акцентирования внимания аналитика на выделенные транзитивные пути.

На рис. 4 приведен пример применения данной метафоры при визуализации пары путей «1-3-6-4» и «1-5-7-4». За счет равных длин путей удалось обеспечить симметричность целевого подграфа относительно горизонтальной оси.

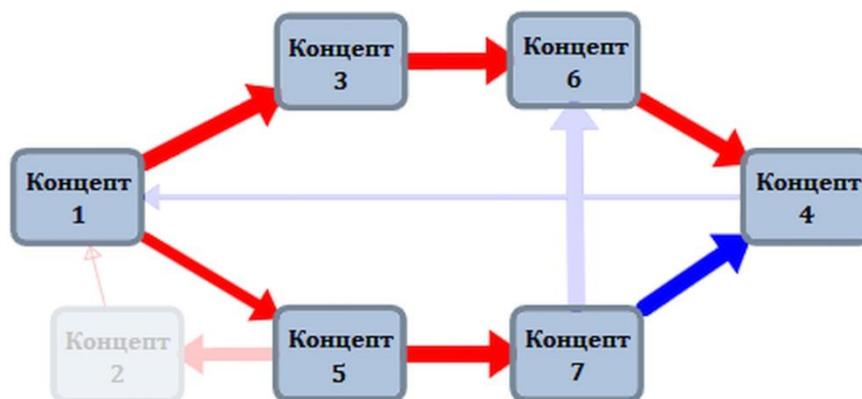


Рис. 4. Пример применения метафоры визуализации пар транзитивных путей

По аналогии с предыдущей метафорой, приоритетным направлением дуг может являться как «слева-направо», так и «сверху-вниз», в зависимости от предпочтений аналитика.

4.3. Визуализация пропуска связи между концептами

Пусть в НКК на рис. 2 изначально отсутствует связь, направленная от Концепта 6 к Концепту 4. Легко видеть, что это приводит к отсутствию ориентированных путей от Концепта 3 ко всем концептам, кроме Концепта 6, а также от Концепта 6 ко всем концептам.

Предположим, будет добавлена связь от Концепта 6 к любому из концептов с номерами 1, 2, 4, 5. Очевидно, что это приведет к появлению ориентированных путей от самого Концепта 6 ко всем концептам, а также от Концепта 3 ко всем концептам. В случае же, если такая связь будет добавлена от Концепта 3, то Концепт 6 по-прежнему останется изолированным. Поэтому рассмотрению Концепта 6 в качестве концепта-причины целесообразно назначить более высокий приоритет.

Далее требуется определить порядок предъявления потенциальных концептов-следствий, то есть концептов с номерами 1, 2, 4, 5. Возможное решение здесь может состоять в том, чтобы ориентироваться на интенсивности влияний, оказываемых этими концептами на другие концепты НКК. Данная информация также может быть получена из транзитивно-замкнутой матрицы. Наибольшее суммарное влияние на концепты в составе НКК оказывает Концепт 1.

Пример применения метафоры визуализации, учитывающей приведенные выше рассуждения, представлен на рис. 5. Аналитику предлагается добавить связь от Концепта 6 к Концепту 1, при этом он может как согласиться с данным предложением, так и отказаться от него. Если аналитик соглашается добавить связь, то далее ему необходимо задать ее параметры, что, в свою очередь, требует применения методов параметрической идентификации НКК [7].

Важной особенностью предлагаемой метафоры визуализации является возможность корректировки ее пространственной составляющей с целью повышения когнитивной ясности визуального образа НКК. Так, если концепты, предъявляемые аналитику с целью добавления связи, находятся далеко друг от друга и разделены другими элементами НКК, то выполняется перестроение визуального образа, направленное одновременно на пространственное сближение данных концептов и на сохранение привычного расположения остальных элементов НКК. Пример работы метафоры в подобной ситуации приведен на рис. 6. Следует отметить, что с точки зрения автоматизации корректировки визуального образа интерес представляет подход, основанный на методе имитации отжига, предложенный в [11].

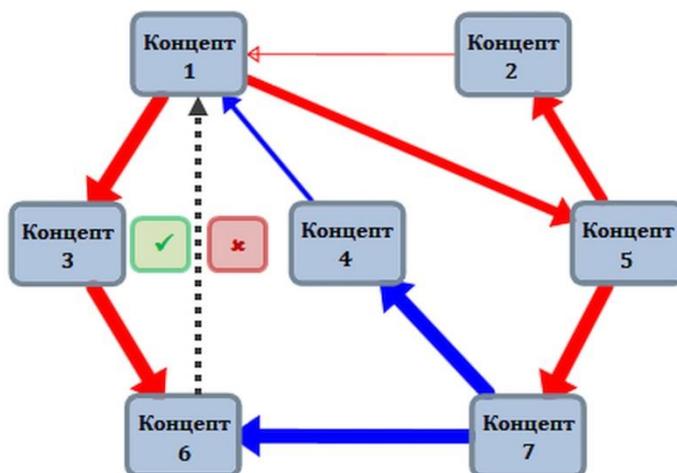


Рис. 5. Пример применения метафоры визуализации для устранения пропуска связи между концептами (случай сохранения исходной пространственной метафоры)

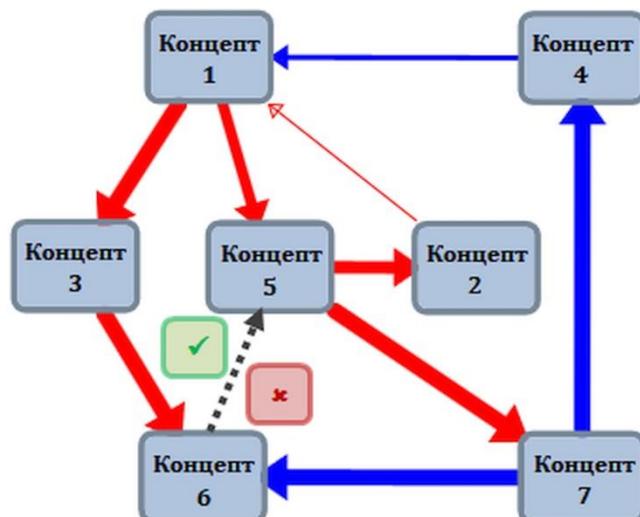


Рис. 6. Пример применения метафоры визуализации для устранения пропуска связи между концептами (случай корректировки пространственной метафоры)

5. Заключение

В работе показаны возможности применения подхода к визуализации НКК на основе метафор визуализации для верификации причинно-следственных связей в нечетких когнитивных моделях.

Представлена методика верификации причинно-следственных связей, позволяющая сочетать применение алгоритмов поиска на графах с последующей визуальной обработкой полученных результатов на основе метафор визуализации. Рассмотрены примеры визуализации ситуаций, которые могут характеризовать неполноту или избыточность множества причинно-следственных связей между концептами. Показано, что эффективность верификации когнитивной модели может быть повышена за счет повышения когнитивной ясности визуального образа НКК, лежащей в ее основе.

К направлениям дальнейших исследований относятся:

- Разработка и исследование других метафор визуализации, полезных при верификации НКК.
- Программная реализация разработанной методики в виде подсистемы верификации когнитивной модели в составе системы поддержки принятия решений «ИГЛА» [12], а также оценка ее эффективности при построении и исследовании нечетких когнитивных моделей реальных прикладных задач.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00844.

Список литературы

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.
2. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Метафоры визуализации нечетких когнитивных карт // Научная визуализация. – 2018. – Т. 10. – № 4. – С. 13-29. – doi: 10.26583/sv.10.4.02
3. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Построение оптимальной метафоры визуализации нечетких когнитивных карт на основе формализованных критериев когнитивной ясности // Научная визуализация. – 2019. – Т. 11. – № 4. – С. 115-129. – doi: 10.26583/sv.11.4.10
4. Захарова А.А., Шкляр А.В. Метафоры визуализации // Научная визуализация. – 2013. – Т. 5. – № 2. – С. 16-24.

5. Tiuriumin, V., Massel A.: Integration of Situation Semantic Models Based on Ontology System. In: Proceedings of 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). pp. 1–5. IEEE, Vladivostok, Russia (2018). doi: 10.1109/RPC.2018.8482232
6. Кулинич А.А. Верификация когнитивных карт на основе объяснения прогнозов // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении». – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 453–469.
7. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Идентификация структуры и параметров нечетких когнитивных моделей: экспертные и статистические методы // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Т. 7. – № 6. – С. 35-61.
8. Захарова А.А., Вехтер Е.В., Шкляр А.В. Применение средств визуализации для поиска противоречий в результатах планирования // Научная визуализация. – 2019. – Т. 11. – № 4. – С. 81-89. – doi: 10.26583/sv.11.4.07
9. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ: [пер. с англ.] – 3-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2013. – 1328 с.
10. Абрамова Н.А., Воронина Т.А., Порцев Р.Ю. О методах поддержки построения и верификации когнитивных карт с применением идей когнитивной графики // Управление большими системами. Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении». – М.: ИПУ РАН, 2010. – С. 411-430.
11. Lee, Y.-Y., Lin, C.-C., Yen, H.-C.: Mental Map Preserving Graph Drawing Using Simulated Annealing. Information Sciences 181(19), 4253–4272 (2011). doi: 10.1016/j.ins.2011.06.005
12. Захарова А.А., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Математическое и программное обеспечение поддержки когнитивного моделирования слабоструктурированных организационно-технических систем // Междунар. конф. СРТ2019. – Нижний Новгород: Изд-во ННГАСУ и НИЦФТИ, 2019. – С. 131-141.

Verification of Cause-and-Effect Relationships in Cognitive Models Using Visualization Metaphors of Fuzzy Cognitive Maps

R.A. Isaev¹, A.G. Podvesovskii²

Bryansk State Technical University

¹ ORCID: 0000-0003-3263-4051, ruslan-isaev-32@yandex.ru

² ORCID: 0000-0002-1118-3266, apodv@tu-bryansk.ru

Abstract

The paper presents the continuation of the authors' research in the field of visualization of cognitive models based on fuzzy cognitive maps. Application of visualization metaphors of fuzzy cognitive maps for verification of cause-and-effect relationships in cognitive models is considered. It is shown that increasing the effectiveness of cognitive model verification is possible by activating analyst's cognitive potential. The most natural way of such activation is to increase cognitive clarity of the model through the use of visualization capabilities. For this purpose, a number of metaphors for visualizing fuzzy cognitive maps have been proposed, aimed at increasing their cognitive clarity during verification. Each of the metaphors is focused on the visualization of a certain type of fragments of a fuzzy cognitive map potentially containing errors, redundancy or incompleteness and therefore is of interest from the point of view of verification. Examples are given of applying the proposed visualization metaphors.

Keywords: fuzzy cognitive map, graph visualization, cognitive clarity, visualization metaphor, cognitive model verification.

References

1. Borisov, V.V., Kruglov, V.V., Fedulov, A.S.: Nechetkie modeli i seti [Fuzzy Models and Networks]. Goryachaya Liniya – Telekom, Moscow, Russia (2012). [in Russian]
2. Podvesovskii, A.G., Isaev, R.A.: Visualization Metaphors for Fuzzy Cognitive Maps. *Scientific Visualization* 10 (4), 13–29 (2018). doi: 10.26583/sv.10.4.02
3. Podvesovskii, A.G., Isaev, R.A.: Constructing Optimal Visualization Metaphor of Fuzzy Cognitive Maps on the Basis of Formalized Cognitive Clarity Criteria. *Scientific Visualization* 11 (4), 115–129 (2019). doi: 10.26583/sv.11.4.10
4. Zakharova, A.A., Shklyar, A.V.: Visualization Metaphors. *Scientific Visualization* 5 (2), 16–24 (2013).
5. Tiuriumin, V., Massel A.: Integration of Situation Semantic Models Based on Ontology System. In: Proceedings of 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). pp. 1–5. IEEE, Vladivostok, Russia (2018). doi: 10.1109/RPC.2018.8482232
6. Kulinich, A.A.: Verifikatsiya kognitivnykh kart na osnove ob'jasneniya prognozov [Cognitive Maps Verification Based on Processes Explanation]. *Upravlenie bol'shimi sistemami [Large-Scale Systems Control]* 30.1, 453–469 (2010). [in Russian].
7. Podvesovskii, A.G., Isaev, R.A.: Identification of Structure and Parameters of Fuzzy Cognitive Models: Expert and Statistical Methods. *International Journal of Open Information Technologies* 7(6), 35–61 (2019).
8. Zakharova, A.A., Vekhter, E.V., Shklyar, A.V.: Using Visualization Tools to Search for Contradictions in Planning Results. *Scientific Visualization* 11 (4), 81–89 (2019). doi: 10.26583/sv.11.4.07

9. Cormen, Th.H., Leiserson, C.E.; Rivest, R.L.; Stein, C.: Introduction to Algorithms. 3rd, MIT Press (2009).
10. Abramova, N.A., Voronina, T.A., Portsev, R.Y. O metodah podderzhki postroeniya i verifikacii kognitivnyh kart s primeneniem idej kognitivnoj grafiki [Ideas of Cognitive Graphics to Support Verification of Cognitive Maps]. Upravlenie bol'shimi sistemami [Large-Scale Systems Control] 30.1, 411–430 (2010). [in Russian].
11. Lee, Y.-Y., Lin, C.-C., Yen, H.-C.: Mental Map Preserving Graph Drawing Using Simulated Annealing. Information Sciences 181(19), 4253–4272 (2011). doi: 10.1016/j.ins.2011.06.005
12. Zakharova, A.A., Podvesovskii, A.G., Isaev, R.A. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie podderzhki kognitivnogo modelirovaniya slabostruktirovannyh organizacionno-tehnicheskikh system [Mathematical and Software Support for Cognitive Modeling of Semi-structured Organizational and Technical Systems]. In: CPT2019 International conference Proceedings, pp. 131–141. Pub. NNGASU and SRCIPT, Nizhniy Novgorod (2019). [in Russian].