

Построение оптимальной метафоры визуализации нечетких когнитивных карт на основе формализованных критериев когнитивной ясности

А.Г. Подвесовский^{1,А}, Р.А. Исаев^{2,А}

Брянский государственный технический университет

¹ ORCID: 0000-0002-1118-3266, apodv@tu-bryansk.ru

² ORCID: 0000-0003-3263-4051, ruslan-isaev-32@yandex.ru

Аннотация

В работе представлено продолжение исследования в области построения метафоры визуализации когнитивных моделей, основанных на нечетких когнитивных картах. Предложено развитие данной метафоры в направлении автоматизации построения визуального образа нечеткой когнитивной карты, оптимального с точки зрения критериев когнитивной ясности, определенных в предыдущей части исследования. С этой целью разработаны способы формализации нескольких нетривиальных критериев когнитивной ясности, а также введено решающее правило для выбора оптимального визуального образа. Приведен пример использования предложенной метафоры, подтверждающий ее работоспособность и эффективность.

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

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, 2]. Таким образом, НКК может быть наглядно представлена 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. В работе [3] авторами был предложен подход к визуализации НКК, основанный на использовании понятия метафоры визуализации и двух ее составляющих – пространственной метафоры и метафоры представления [4]. В основу метафоры визуализации НКК положены алгоритмы визуализации графов [5, 6] и понятие когнитивной ясности, характеризующее легкость интуитивного понимания информации [7] и позволяющее учесть проблему ограниченности когнитивных возможностей человека при чтении графов (подробный анализ данной проблемы можно найти, например, в [8]). Так, выявлено наличие связи между качеством применяемой метафоры визуализации НКК и уровнем когнитивной ясности полученного визуального образа: чем более высокий уровень когнитивной ясности обеспечивает метафора визуализации, тем более простым является процесс экспертного понимания когнитивной модели при ее визуальном анализе. Для оценки уровня когнитивной ясности предложен набор критериев. Сделан вывод о том, что критерии когнитивной ясности являются средством наиболее естественной оценки качества метафоры визуализации.

Настоящая работа посвящена развитию метафоры визуализации НКК в направлении автоматизации построения визуального образа НКК, оптимального с точки зрения

критериев когнитивной ясности. Если в предыдущей части исследования основное внимание уделялось метафоре представления, то данная работа фокусируется на пространственной метафоре, которая является базовой составляющей метафоры визуализации и служит основой для последующего формирования метафоры представления.

2. Развитие метафоры визуализации НКК: основная идея

В работе [3] отмечалось, что многие из критериев когнитивной ясности противоречат друг другу, и обеспечить соответствие визуального образа НКК одновременно всем критериям с алгоритмической точки зрения в общем случае невозможно.

В то же время, следует обратить внимание на ряд особенностей процесса визуализации НКК:

- 1) существующие алгоритмы визуализации графов [5, 6] обеспечивают формирование в достаточной мере приемлемых (с точки зрения отдельных критериев когнитивной ясности) визуальных образов НКК;
- 2) построение визуального образа НКК с использованием таких алгоритмов не требует больших вычислительных и временных ресурсов – таким образом, возможна генерация большого количества визуальных образов выбранной НКК за приемлемый промежуток времени (в том числе с применением технологий параллельных вычислений);
- 3) имея в наличии ряд построенных визуальных образов НКК, в общем случае можно выбрать из них образ, наиболее полно удовлетворяющий критериям когнитивной ясности.

Перечисленные особенности легли в основу развития метафоры визуализации НКК для обеспечения построения визуального образа НКК, оптимального с точки зрения критериев когнитивной ясности. Предлагаемый алгоритм визуализации НКК с применением метафоры приведен на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм визуализации НКК с применением метафоры

Опишем этапы работы данного алгоритма.

На первом этапе происходит применение алгоритмов визуализации графов с целью построения N различных укладок когнитивного графа (где число N может быть достаточно большим и зависит от производительности системы и допустимого времени, затрачиваемого на данный этап). Под укладкой графа понимается совокупность координат всех его вершин и дуг – таким образом, укладка однозначно задает расположение всех элементов графа в пространстве (в рассматриваемом двумерном случае – на плоскости).

Возможность получения большого числа различных укладок одного и того же графа обусловлена следующими факторами, а также их сочетаниями:

- 1) на данном этапе может применяться набор различных алгоритмов визуализации графов, работа которых основана на разных принципах и потому приводит к формированию разных укладок при одинаковых входных данных;
- 2) как правило, алгоритмы визуализации графов предусматривают ряд настраиваемых параметров (например, коэффициенты в расчетных формулах), изменение которых оказывает влияние на результаты работы алгоритмов, т.е. получаемые укладки;
- 3) как правило, алгоритмы визуализации графов используют в качестве входных данных начальные координаты вершин и дуг, генерируемые случайным образом при каждом новом запуске алгоритма – таким образом, в результаты их работы вносятся элементы стохастичности.

Следует обратить внимание, что построенные на данном этапе укладки, ввиду их большого количества, на экран не выводятся, а просто хранятся в оперативной памяти.

Второй этап алгоритма предполагает оценивание степеней соответствия сгенерированных укладок критериям когнитивной ясности. Отметим, что эти критерии сформулированы на качественном уровне, с использованием естественного языка. В то же время, предлагаемая метафора, будучи направленной на автоматизацию построения оптимального визуального образа НКК, подразумевает выполнение всех основных этапов алгоритма без участия человека. Следовательно, этап оценивания получаемых укладок по критериям когнитивной ясности требуется реализовать алгоритмически. С этой целью необходимо получить формализованное представление данных критериев. Этот вопрос будет более подробно рассмотрен далее.

На третьем этапе алгоритма на основании полученных критериальных оценок укладок и заранее указанных приоритетов критериев когнитивной ясности происходит выбор оптимальной укладки. При этом необходимо применение решающих правил, моделирующих различные формы компромисса между критериями. Одно из допустимых правил предлагается далее в настоящей работе.

Целью этапа трансформации выбранной оптимальной укладки является дополнительное повышение ее когнитивной ясности за счет выполнения одной или нескольких операций следующих типов: поворот на определенный угол, отражение относительно горизонтальной или вертикальной оси, сжатие или растяжение вдоль определенного направления. Таким образом, данный этап выполняет функцию постобработки получаемой укладки и, в общем случае, не является обязательным.

Наконец, последний этап алгоритма предполагает вывод на экран визуального образа НКК, построенного на основе выбранной оптимальной укладки. При этом, как правило, применяется метафора представления, соответствующая текущему этапу построения или анализа когнитивной модели.

Очевидно, что эффективность предлагаемого алгоритма зависит, в числе прочего, от количества обрабатываемых укладок N : чем больше укладок сгенерировано, тем выше вероятность, что среди них будет обнаружена укладка с высоким уровнем когнитивной ясности. В то же время, на практике значение N необходимо ограничивать для удовлетворения заданным временным ограничениям на процесс построения визуального образа НКК.

Отметим также, что этапы алгоритма, обведенные пунктирными линиями (т.е. построение укладок и их оценивание по критериям), могут выполняться параллельно. В случае применения технологий параллельных вычислений это позволяет существенно увеличить число N , что приведет к повышению эффективности работы алгоритма.

3. Способы формализации критериев когнитивной ясности

Под формализацией некоторого критерия когнитивной ясности будем понимать разработку способов, методик и алгоритмов, позволяющих для визуального образа произвольной когнитивной карты определить численную оценку, характеризующую степень соответствия данного образа выбранному критерию. Формализация большинства критериев (например, таких, как минимизация длин дуг, минимизация числа пересечений дуг, минимизация числа искривленных дуг) тривиальна, и ее описание не представляет интереса, поскольку сводится к решению простых задач вычислительной геометрии. Рассмотрим возможные способы формализации нескольких нетривиальных критериев когнитивной ясности.

3.1. Оптимизация направлений дуг

Данный критерий основан на наблюдении, согласно которому изображение дуг в направлениях «сверху вниз» и «слева направо» способствует ускорению «прочтения» НКК по сравнению с изображением дуг в противоположных направлениях. Будем называть направления, способствующие более быстрому «прочтению» НКК, а также

дуги, имеющие такие направления, удобными. В качестве примера можно сравнить два визуальных образа когнитивного графа на рис. 2.

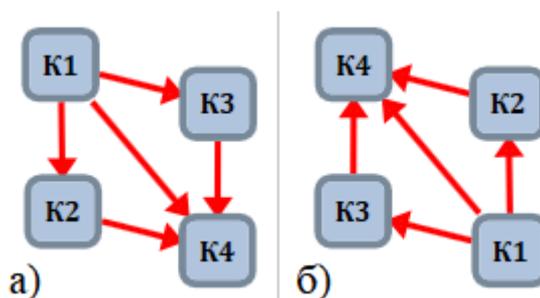


Рис. 2. Примеры визуальных образов с удобными (а) и не являющимися таковыми (б) направлениями дуг

По всей видимости, удобные направления совпадают с направлением чтения, принятым в той или иной языковой культуре. Поэтому, при прочих равных условиях, следует отдавать предпочтение визуальным образам, содержащим большее число удобных дуг. При этом необходимо учесть, что описанное свойство по своей природе является нечетким. Так, изображение дуги «сверху вниз» и «справа налево» можно считать частично удобным, поскольку одно из привычных направлений чтения сохраняется. Следовательно, для формализации рассматриваемого критерия можно использовать математический аппарат теории нечетких множеств.

Пусть A – нечеткое множество, формализующее понятие «удобное направление дуги». Для того, чтобы задать его функцию принадлежности, определим направление дуги как угол α между вектором, проведенным из начала дуги в ее конец, и положительным направлением горизонтальной оси ОХ. Тогда функция принадлежности $\mu_A(\alpha)$ должна удовлетворять следующим требованиям:

$$1) \mu_A(\alpha) = 1 \text{ при } -\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq 0;$$

$$2) \mu_A(\alpha) = 0 \text{ при } \frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi;$$

$$3) 0 < \mu_A(\alpha) < 1 \text{ при } 0 < \alpha < \frac{\pi}{2} \text{ и } -\pi < \alpha < -\frac{\pi}{2};$$

$$4) \text{ монотонно возрастает на интервале } -\pi < \alpha < -\frac{\pi}{2};$$

$$5) \text{ монотонно убывает на интервале } 0 < \alpha < \frac{\pi}{2}.$$

С учетом этих требований, на интервале $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ можно принять $\mu_A(\alpha) = \cos(\alpha)$,

а на интервале $-\pi < \alpha < -\frac{\pi}{2}$ можно принять $\mu_A(\alpha) = -\sin(\alpha)$.

Определив для каждой дуги НКК степень ее принадлежности множеству A , можно получить величину, характеризующую оценку всего визуального образа по данному критерию – например, как среднее значение степеней принадлежности всех дуг.

Интенсивности влияний также должны учитываться в итоговой оценке, поскольку обеспечение удобных направлений для более значимых влияний важнее, чем для менее значимых. Поэтому абсолютные величины интенсивностей влияний можно ис-

пользовать в качестве весовых коэффициентов и при вычислении среднего домножать на них значения принадлежности соответствующих дуг.

3.2. Максимизация однонаправленности последовательных дуг

Данный критерий основан на идее о том, что «прочтение» НКК будет осуществляться быстрее, если в процессе просмотра путей и циклов графа придется как можно реже менять направление взгляда.

Будем называть две дуги последовательными, если одна из них входит в вершину, из которой выходит другая. Таким образом, любой путь и цикл графа состоит из пар последовательных дуг. Поэтому, в соответствии с данным критерием, предпочтение следует отдавать тем визуальным образам, где большее число пар последовательных дуг изображены однонаправлено. Для примера сравним два визуальных образа фрагмента некоторой НКК (рис. 3).

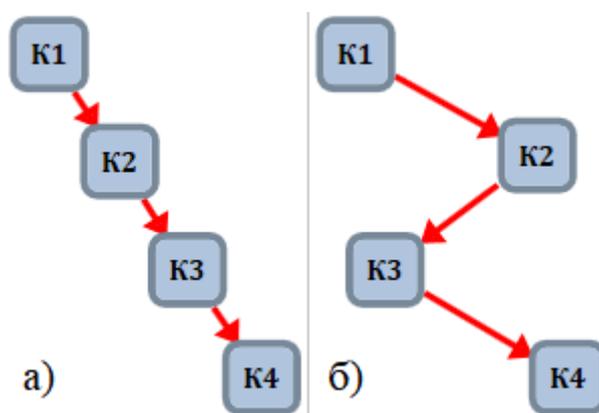


Рис. 3. Примеры визуальных образов с однонаправленными (а) и разнонаправленными (б) последовательными дугами

Очевидно, что свойство однонаправленности является нечетким. Пусть V – нечеткое множество, формализующее понятие однонаправленности дуг. Степень принадлежности пары последовательных дуг множеству V определяется углом $\beta \in [0, \pi]$ между этими дугами. Будем считать, что изменение направления взгляда на 90 градусов и более существенно замедляет процесс просмотра пути в графе. Соответственно, к функции принадлежности $\mu_V(\beta)$ предъявляются следующие требования:

$$1) \mu_V(\beta) = 1 \text{ при } \beta = 0;$$

$$2) \mu_V(\beta) = 0 \text{ при } \beta \geq \frac{\pi}{2};$$

$$3) 0 < \mu_V(\beta) < 1 \text{ и монотонно убывает при } 0 < \beta < \frac{\pi}{2}.$$

С учетом данных требований, на интервале $0 < \beta < \frac{\pi}{2}$ примем $\mu_V(\beta) = \cos(\beta)$.

По аналогии с предыдущим критерием, оценку всего визуального образа по данному критерию можно найти как среднее значение степеней принадлежности всех пар последовательных дуг множеству V . Интенсивности влияний также могут быть учтены аналогичным способом.

3.3. Максимизация симметричности графа

Важность обеспечения симметричности визуального образа НКК для повышения его когнитивной ясности обусловлена тем обстоятельством, что структура НКК отражает структуру моделируемой системы – таким образом, симметрии изображения графа позволяют обнаружить симметрии, свойственные самой системе.

Рассмотрим различные аспекты определения степени симметричности изображения применительно к визуальному образу НКК.

Во-первых, наиболее простыми для восприятия и потому представляющими наибольший практический интерес являются следующие типы симметрий:

- 1) осевая относительно горизонтальной оси изображения;
- 2) осевая относительно вертикальной оси изображения;
- 3) центральная относительно геометрического центра изображения.

Во-вторых, в случае НКК, как и любого орграфа, можно различать следующие уровни симметричности (на рис. 4 рассматривается случай симметрии относительно вертикальной оси):

- 1) отсутствие симметричности на уровне любых элементов графа (рис. 4, а);
- 2) на уровне вершин без учета дуг (рис. 4, б);
- 3) на уровне дуг без учета их направлений (рис. 4, в);
- 4) на уровне дуг с учетом их направлений (рис. 4, г).

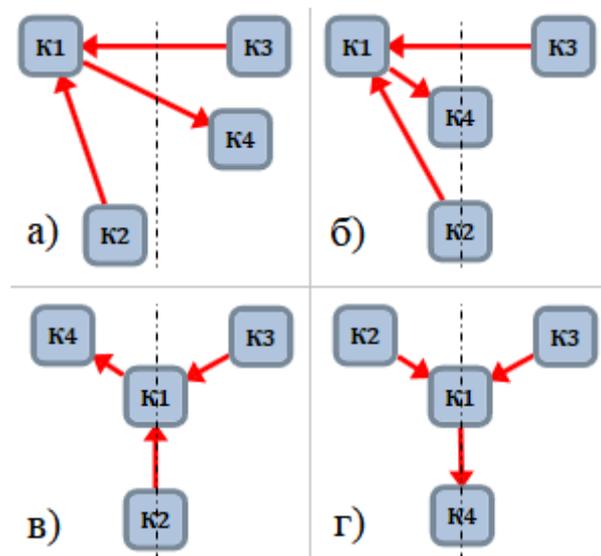


Рис. 4. Примеры различных уровней симметричности визуального образа НКК (относительно вертикальной оси)

Приведенный пример позволяет сделать вывод о том, что симметрия на уровне вершин не приносит ощутимого эффекта в повышение когнитивной ясности визуального образа НКК. Таким образом, практический интерес представляет только симметрия на уровне дуг.

В-третьих, очевидно, что помимо строгой симметрии (рис. 5, а) можно говорить также о приближенной симметрии (рис. 5, б), которая может быть представлена как некоторое отклонение от строгой.

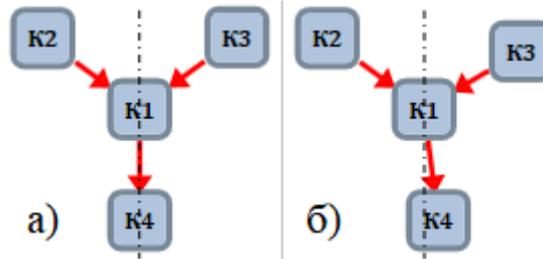


Рис. 5. Примеры случаев строгой (а) и приближенной (б) симметрии визуального образа НКК

С учетом этого, степень симметричности визуального образа НКК можно определить как меру его близости к строго симметричному образу. Таким образом, необходимо разработать алгоритм, который для произвольного образа способен определить степень его симметричности, с учетом заданного типа и уровня симметрии.

Основная идея предлагаемого алгоритма состоит в следующем. Для каждого элемента визуального образа НКК вычисляется положение его «отражения» относительно заданной оси или центра. Далее для каждого из «отражений» выбирается наиболее близкий (в смысле выбранной метрики, например, евклидова расстояния) к нему элемент среди всех элементов образа. Расстояния (в выбранной метрике) от всех «отражений» до соответствующих им ближайших элементов суммируются. Полученная в результате величина характеризует степень симметричности рассматриваемого визуального образа и обладает следующими свойствами:

- 1) равна 0 в том случае, если образ обладает строгой симметрией заданного (либо более сильного) уровня и типа;
- 2) больше 0 во всех остальных случаях;
- 3) возрастает по мере того, как образ становится все менее симметричным;
- 4) не имеет верхней границы, поскольку не существует «максимально асимметричного» образа.

4. Разработка решающего правила для выбора оптимальной укладки НКК

Основной интерес в контексте рассматриваемой задачи представляет класс решающих правил, основанных на различного типа свертках критериев, в первую очередь, аддитивной и мультипликативной. В то же время есть основания полагать, что структура взаимосвязей между критериями когнитивной ясности является достаточно сложной и характеризуется следующими особенностями:

- 1) могут существовать критерии, которые определяют качество метафоры не в отдельности, а в сочетании с какими-либо другими критериями;
- 2) во всем множестве критериев могут существовать несколько таких «связок критериев», влияющих на качество метафоры независимо друг от друга.

Для формализации описанного предположения примем, что множество критериев $K = \{k_1, \dots, k_n\}$ может быть разделено на непересекающиеся подмножества G_1, \dots, G_m . Также далее будем считать, что оценки визуального образа НКК по всем критериям принадлежат отрезку $[0;1]$.

Для каждого подмножества критериев G_i введем величину $g_i \in [0;1]$ – оценку визуального образа по данному подмножеству. К такой оценке будем предъявлять следующие требования:

- 1) если оценка образа хотя бы по одному критерию из подмножества G_i равна 0, то $g_i = 0$;

- 2) $g_i = 1$ тогда и только тогда, когда оценка образа по всем критериям из подмножества G_i равна 1;
- 3) если оценка образа по всем критериям из подмножества G_i равна a , то $g_i = a$ (идемпотентность).

Одной из операций, удовлетворяющих указанным требованиям, является взвешенная мультипликативная свертка:

$$g_i = \prod_{j=1}^l m_j^{w_j},$$

где m_j – оценка образа по j -му критерию из G_i , $w_j \in [0;1]$ – относительная важность j -го критерия в рамках G_i ($w_1 + \dots + w_l = 1$), l – мощность G_i .

Для получения итоговой оценки применим взвешенную аддитивную свертку к полученным оценкам по всем подмножествам:

$$F = \sum_{i=1}^m w_{g_i} g_i,$$

где $w_{g_i} \in [0;1]$ – относительная важность подмножества G_i ($w_{g_1} + \dots + w_{g_m} = 1$).

При этом величина w_{g_i} может быть интерпретирована как оценка визуального образа НКК, полностью удовлетворяющего подмножеству критериев G_i и полностью не удовлетворяющего другим подмножествам критериев.

Таким образом, для итоговой оценки F гарантируются следующие свойства:

- 1) $F \in [0;1]$;
- 2) $F = 1$, если оценки по всем критериям равны 1;
- 3) $F = 0$, если оценки по всем подмножествам критериев G_1, \dots, G_m равны 0 (т.е. в каждом подмножестве присутствует хотя бы один критерий, оценка по которому равна 0).

Следует отметить, что поскольку предложенное решающее правило основано на совместном применении аддитивной и мультипликативной сверток критериев, то данные типы сверток являются его «крайними» частными случаями. Так, аддитивный тип свертки будет получен, если каждому из критериев k_1, \dots, k_n будет поставлено в соответствие отдельное подмножество G_1, \dots, G_n . Отнесение всех критериев к одному подмножеству G_1 приведет к получению мультипликативной свертки.

Выбор и обоснование параметров решающего правила (количество подмножеств критериев, распределение критериев по подмножествам и т.д.) является задачей аналитика, выполняющего визуальный анализ НКК. Эта задача должна решаться на основании знания особенностей того или иного этапа когнитивного моделирования (в частности, того, какие критерии когнитивной ясности на данном этапе наиболее значимы), а также с привлечением интуиции и опыта аналитика. Так, относительные важности подмножеств и критериев в рамках подмножеств могут быть заданы на основе метода парных сравнений.

5. Экспериментальная часть

Комплекс алгоритмов, обеспечивающих предложенное развитие метафоры визуализации НКК, был программно реализован в рамках подсистемы визуализации НКК, входящей в состав СППР на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА» [9].

С целью проверки работоспособности предложенного развития метафоры визуализации НКК проводилась серия экспериментов, в рамках которой варьировались следующие параметры метафоры:

- используемые алгоритмы визуализации графов;
- число генерируемых укладок N ;
- система предпочтений по критериям когнитивной ясности.

По результатам серии экспериментов были сделаны следующие выводы:

- все варьируемые параметры оказывают влияние на качество метафоры, т.е. на уровень когнитивной ясности получаемого визуального образа;
- наиболее целесообразным является использование алгоритмов визуализации графов ISOM и LinLog;
- приемлемый уровень качества метафоры достигается уже при $N = 100$, при этом повышение N приводит к росту временных затрат на процесс визуализации, которые при больших значениях N могут оказаться неприемлемыми (отметим, что удельные затраты на обработку одной укладки составляют 0,03-0,09 секунды в зависимости от размера НКК; эти данные были получены при следующих условиях: процессор i5-2450M, технологии параллельных вычислений не применялись);
- решающее правило, введенное в настоящей работе, позволяет достаточно гибко управлять относительной важностью критериев когнитивной ясности и определять допустимые формы компромисса между ними.

Рассмотрим более подробно условия и результаты одного из экспериментов.

В качестве НКК, визуальный образ которой необходимо было построить, была выбрана НКК анализа и планирования программных проектов [10]. Выбор данной НКК был обусловлен ее сравнительно небольшим размером и несложной структурой, что положительно сказалось на простоте интерпретации получаемых результатов визуализации (и, таким образом, упростило верификацию исследуемой метафоры).

На этапе построения укладок НКК были задействованы алгоритмы ISOM и LinLog. В общей сложности было сгенерировано 100 укладок. Оценка степеней соответствия укладок критериям когнитивной ясности проводилась с использованием предложенных способов формализации данных критериев.

Параметры решающего правила были заданы следующим образом. Множество критериев было разделено на два подмножества: G_1 и G_2 . При этом к подмножеству G_1 были отнесены следующие критерии:

- оптимизация области размещения (в рамках данного эксперимента укладку было необходимо разместить в области квадратной формы);
- минимизация длин дуг;
- унификация длин дуг;
- максимизация симметричности графа.

Подмножество G_2 включило в себя остальные критерии:

- оптимизация направлений дуг;
- минимизация пересечений дуг;
- минимизация числа искривленных дуг;
- максимизация однонаправленности последовательных дуг;
- максимизация углов между инцидентными дугами.

Приоритеты подмножеств G_1 и G_2 были заданы равными 0,3 и 0,7 соответственно. Приоритеты критериев в рамках подмножеств были распределены равномерно, то есть равны 0,25 и 0,2 для критериев из G_1 и G_2 соответственно.

Наилучшей из сгенерированных укладок была признана укладка, представленная на рис. 6 (далее будем обозначать ее как укладку № 1). Для сравнения рассмотрим также две другие укладки, случайно выбранные из числа сгенерированных (рис. 7-8), которые обозначим соответственно № 2 и № 3.

Результаты оценивания укладок по критериям когнитивной ясности представлены в табл. 1. Критериальные оценки укладок нормированы на диапазон [0; 1] (нормировка осуществлялась с учетом оценок всех 100 полученных укладок), при этом была учтена первоначальная необходимость минимизации ряда критериев – таким образом, после нормировки все критерии необходимо максимизировать.

На рис. 9 представлен окончательный вариант визуального образа НКК, полученный на основе укладки №1 в результате выполнения над ней операций трансформации. В данном случае была выполнена следующая последовательность операций: поворот на 90 градусов по часовой стрелке; зеркальное отражение относительно вертикальной оси укладки; сжатие укладки по вертикали на 30%.

Табл. 1. Результаты оценивания сгенерированных укладок

Критерии и подмножества критериев	Номер укладки		
	1	2	3
Подмножество G_1	0,860	0,715	0,467
Оптимизация области размещения	0,824	0,985	0,792
Минимизация длин дуг	0,796	0,654	0,439
Унификация длин дуг	0,952	0,696	0,299
Максимизация симметричности графа	0,875	0,584	0,457
Подмножество G_2	0,749	0,410	0,778
Оптимизация направлений дуг	0,804	0,232	0,765
Минимизация пересечений дуг	1	0,540	1
Минимизация числа искривленных дуг	1	0,673	0,694
Максимизация однонаправленности последовательных дуг	0,368	0,350	0,892
Максимизация углов между инцидентными дугами	0,796	0,394	0,603
Итоговая оценка	0,782	0,502	0,685

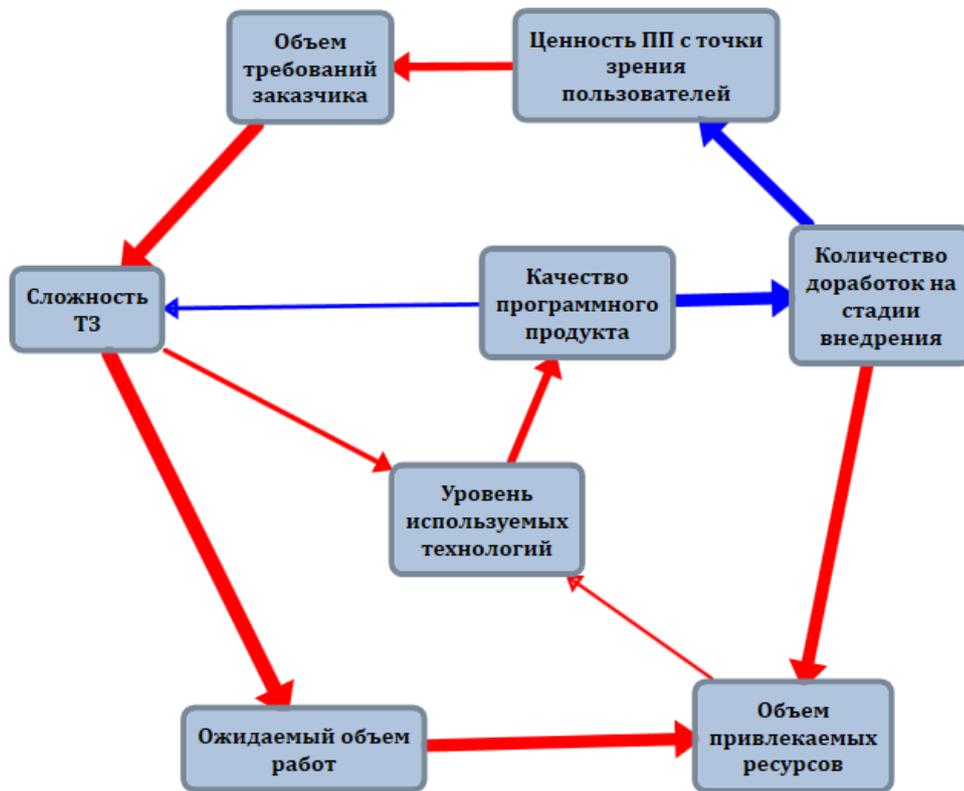


Рис. 6. Укладка № 1

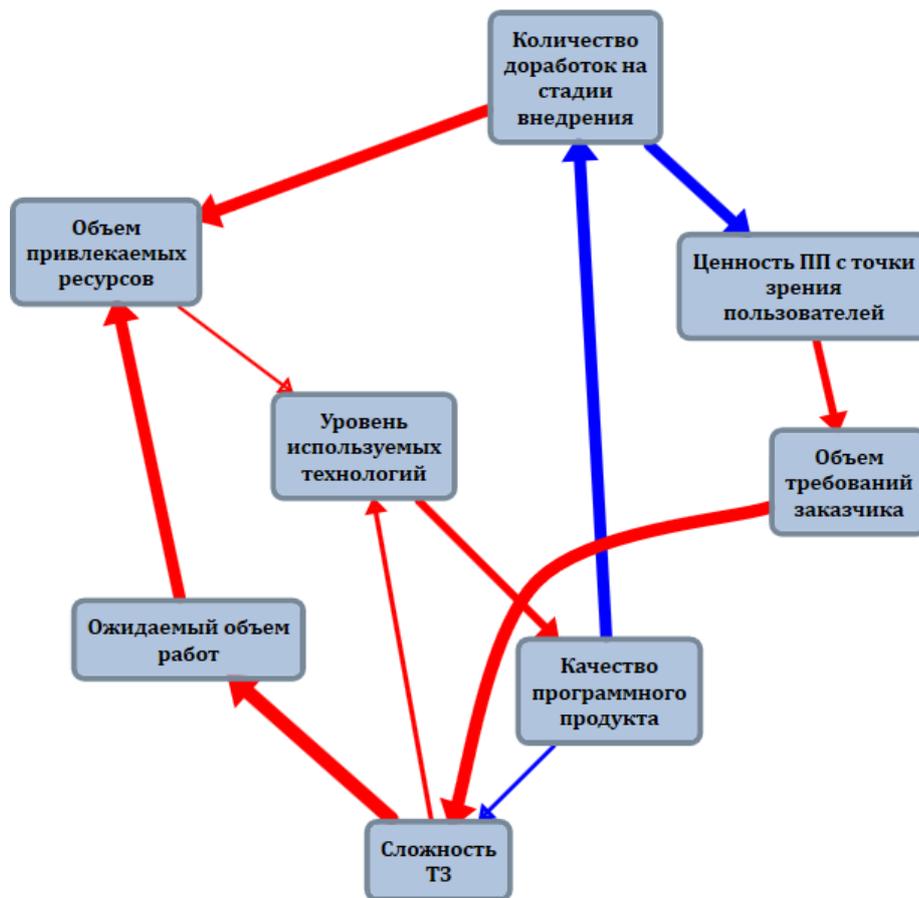


Рис. 7. Укладка № 2

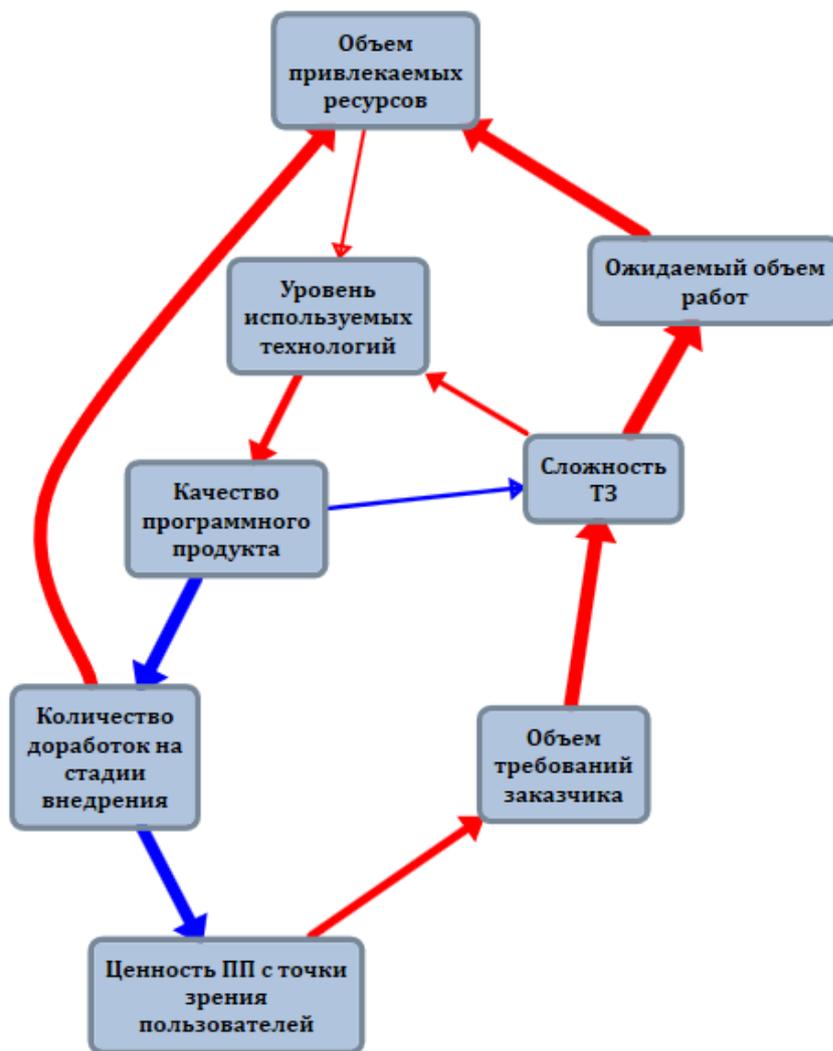


Рис. 8. Укладка № 3



Рис. 9. Визуальный образ НКК

Ключевым эффектом от применения предложенной метафоры визуализации НКК при визуальном анализе когнитивных моделей является существенное сокращение времени, затрачиваемое на построение визуального образа НКК, обладающего высоким уровнем когнитивной ясности. Так, для рассмотренной НКК применение метафоры позволило сократить время построения такого визуального образа (рис. 9) в 4 раза.

Полученный визуальный образ может быть адаптирован для визуального анализа на любом этапе когнитивного моделирования посредством применения соответствующей метафоры представления (данный вопрос подробно рассматривался в работе авторов [3]). Так, применение метафоры, представленной на рис. 10, позволяет аналитику проводить интерпретацию системных показателей НКК на этапе структурно-целевого анализа. При этом затрачиваемое время уменьшается в среднем в 3-4 раза по сравнению с традиционным способом интерпретации (подразумевающим необходимость чтения аналитиком большого объема данных, представленных в числовой форме). Таким образом, можно говорить о повышении эффективности когнитивной интерпретации визуального образа НКК путем снижения затрачиваемого на нее времени [11].



Рис. 10. Результат применения метафоры системных показателей НКК

6. Заключение

В работе представлено развитие метафоры визуализации нечетких когнитивных карт в направлении автоматизации построения визуального образа нечеткой когнитивной карты, оптимального с точки зрения критериев когнитивной ясности. Приведен обобщенный алгоритм визуализации НКК с применением метафоры, работа которого основана на использовании алгоритмов визуализации графов и учете формализованных критериев когнитивной ясности. Описаны возможные способы формализации нескольких таких критериев, относящихся к числу нетривиальных. Также предложено решающее правило для выбора оптимального визуального образа, позволяющее управлять относительной важностью критериев когнитивной ясности и определять допустимые формы компромисса между ними. Приведен пример использования предложенной метафоры, подтверждающий ее работоспособность и эффективность.

Укажем направления дальнейших исследований.

Во-первых, это поиск и формализация взаимосвязей между пространственной метафорой и метафорой представления НКК. В частности, выявление ситуаций, при которых смена метафоры представления требует корректировки предпочтений по критериям когнитивной ясности, что приводит к смене оптимального визуального образа.

Во-вторых, выработка рекомендаций по выбору параметров предложенного в работе решающего правила на основе выявления взаимосвязей между параметрами данного правила и эффективностью его применения при построении визуальных образов различных НКК.

В-третьих, разработка новых решающих правил для выбора оптимальной с точки зрения критериев когнитивной ясности укладки НКК, позволяющих более гибко учитывать особенности предпочтений пользователя и допустимые формы компромисса между критериями когнитивной ясности.

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. Силов, В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В.Б. Силов – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
3. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Метафоры визуализации нечетких когнитивных карт // Научная визуализация. – 2018. – Т. 10. – № 4. – С. 13-29.
4. Захарова А.А., Шкляр А.В. Метафоры визуализации // Научная визуализация. – 2013. – Т. 5. – № 2. – С. 16-24.
5. Meyer B. Self-Organizing Graphs – A Neural Network Perspective of Graph Layout // Whitesides S.H. (eds) Graph Drawing. GD 1998. Lecture Notes in Computer Science, vol 1547. Springer, Berlin, Heidelberg.
6. Noack A. An energy model for visual graph clustering // Proceedings of the 11th International Symposium on Graph Drawing. Springer-Verlag, 2004. – pp. 425-436.
7. 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.
8. Huang W., Hong S.H., Eades P. Predicting Graph Reading Performance: A Cognitive Approach // Proc. Asia Pacific Symposium on Information Visualization (APVIS2006). – Tokyo, Japan, 2006. – pp. 207–216.
9. 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.
10. Подвесовский А.Г., Титарев Д.В., Исаев Р.А. Нечеткие когнитивные модели в задачах анализа и планирования программных проектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2019. – № 8. – С. 22-31. – DOI: 10.14489/vkit.2019.08.pp.022-031
11. Захарова А.А., Вехтер Е.В., Шкляр А.В., Крысько А.В., Салтыкова О.А. Количественная оценка когнитивной интерпретируемости визуализации // Научная визуализация. – 2018. – Т. 10, № 4. – С. 145–153.

Constructing Optimal Visualization Metaphor of Fuzzy Cognitive Maps on the Basis of Formalized Cognitive Clarity Criteria

A.G. Podvesovskii^{1,A}, R.A. Isaev^{2,A}

Bryansk State Technical University

¹ ORCID: 0000-0002-1118-3266, apodv@tu-bryansk.ru

² ORCID: 0000-0003-3263-4051, ruslan-isaev-32@yandex.ru

Abstract

The paper presents continuation of research in the field of constructing a visualization metaphor of cognitive models based on fuzzy cognitive maps. Development of this metaphor in the direction of automating the construction of a visual image of a fuzzy cognitive map, which is optimal from the point of view of cognitive clarity criteria defined in the previous part of the study, is proposed. To this end, methods have been developed to formalize several nontrivial criteria of cognitive clarity. Also, a decision rule has been introduced for choosing the optimal visual image. An example of applying the proposed metaphor, confirming its efficiency and effectiveness, is given.

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

References

1. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli i seti [Fuzzy Models and Networks]. – M.: Goryachaya Liniya – Telekom, 2012. – 284 p. [in Russian]
2. Silov V.B. Prinyatie strategicheskikh reshenij v nechetkoj obstanovke [Strategical Decision Making in Fuzzy Environment] – Moscow: INPRO-RES, 1995. – 228 p. [in Russian]
3. Podvesovskii A.G., Isaev R.A. Visualization Metaphors for Fuzzy Cognitive Maps // Scientific Visualization, 2018, Vol. 10, Num. 4, pp. 13-29. – doi: 10.26583/sv.10.4.02
4. Zakharova A.A., Shklyar A.V. Visualization Metaphors // Scientific Visualization, 2013, Vol. 5, Num. 2, pp. 16-24.
5. Meyer B. Self-Organizing Graphs – A Neural Network Perspective of Graph Layout // Whitesides S.H. (eds) Graph Drawing. GD 1998. Lecture Notes in Computer Science, vol 1547. Springer, Berlin, Heidelberg.
6. Noack A. An energy model for visual graph clustering // Proceedings of the 11th International Symposium on Graph Drawing. Springer-Verlag, 2004. – pp. 425-436.
7. Abramova N.A., Voronina T.A., Portsev R.Y. O metodah podderzhki postroeniya i verifikacii kognitivnykh kart s primeneniem idej kognitivnoj grafiki [Ideas of Cognitive Graphics to Support Verification of Cognitive Maps] // Upravlenie bol'shimi sistemami. Special issue 30.1 "Setevye modeli v upravlenii". – Moscow: ICS RAS, 2010. – pp. 411-430 [in Russian].
8. Huang W., Hong S.H., Eades P. Predicting Graph Reading Performance: A Cognitive Approach // Proc. Asia Pacific Symposium on Information Visualization (APVIS2006). – Tokyo, Japan, 2006. – pp. 207–216.
9. Zakharova A.A., Podvesovskii A.G., Isaev R.A. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie podderzhki kognitivnogo modelirovaniya slabostrukturirovannykh organizacionno-tehnicheskikh system [Mathematical and Software Support for Cognitive

- Modeling of Semi-structured Organizational and Technical Systems] // International conference CPT2019. – Nizhniy Novgorod: Pub. NNGASU and SRCIPT. 2019. – pp. 131-141 [in Russian].
10. Podvesovskii A.G., Titarev D.V., Isaev R.A. Nechetkie kognitivnye modeli v zadachah analiza i planirovaniya programmnyh proektov [Fuzzy cognitive models in software projects analysis and planning] // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii [Herald of computer and information technologies], 2019, Num. 8, pp. 22-31. – doi: 10.14489/vkit.2019.08.pp.022-031
 11. Zakharova A.A., Vekhter E.V., Shklyar A.V., Krysko A.V., Saltykova O.A. Quantitative assessment of cognitive interpretability of visualization // Scientific Visualization, 2018, Vol. 10, Num. 4, pp. 145-153. – doi: 10.26583/sv.10.4.11