

Организация схем обработки формально-когнитивных моделей

В.Ф. Гузик, Е.Р. Мунтян, С.А. Черный, А.В. Шестаков

Южный федеральный университет, Таганрог

Аннотация: В статье предложены схемы и модели, позволяющие за счет использования формальных параметров и процедур расширить возможности когнитивного моделирования и повысить уровень адекватности принимаемых решений по результатам моделирования. В работе представлены различные варианты схем моделирования, что позволяет исследователю выполнить более разносторонний анализ системы, включая анализ динамических воздействий, а также подбор параметров управляющих воздействий, обеспечивающих желаемый уровень реакции системы.

Ключевые слова: динамическое воздействие, управляющее воздействие, моделирование, формально-когнитивная модель, формальная нейрокогнитивная сеть, ф-нейроконцепт.

Введение

Методы когнитивного моделирования получили достаточное распространение для решения слабоформализуемых задач [1,2]. Данные методы характеризуются широким спектром применений от атомной энергетики до транзитивной торговли [3,4], что, в свою очередь обуславливает повышенный интерес к исследованию механизмов, направленных на развитие указанных методов. В то же время в работах [5,6] отмечается актуальность использования нейросетей для диагностики инженерных объектов и других ряда задач.

В настоящей статье рассматриваются решения, связанные с частичным использованием формальных параметров и моделей для формирования значения концептов (естественно, там, где это возможно) в рамках когнитивной среды; с использованием нейросетевого инструментария для реализации процессов когнитивного моделирования; с формированием схем моделирования, позволяющих проводить более разностороннее исследование изучаемых систем.

Первые два решения подробно изложены в работах авторов [7,8], где сформированы и описаны такие понятия, как:

- формальная нейрокognитивная сеть (ФНКС), являющаяся модифицированным аналогом когнитивной сети;
- формальный нейроконцепт (ф-нейроконцепт), который, в свою очередь, является модифицированным аналогом концепта;
- связь влияния (соответствует причинно-следственной связи).

Учитывая, что в своей основе процедура когнитивного анализа является человеко-машинным процессом, причем, связанным с обработкой расплывчатых данных, получение приемлемых результатов моделирования зависит не только от адекватности используемых моделей, но и от уровня организации самого процесса моделирования, способа постановки задач анализа и формы представления результатов. В соответствии с этим, в настоящей статье формулируются предложения по формированию схем моделирования рассматриваемых структур.

Организация процессов моделирования

Предлагаемые в настоящей статье вычислительные схемы формируются на основе базовой конструкции, определяемой, как «оператор когнитивного преобразования» (ОКП), формальное представление которого можно сформулировать следующим образом:

$$[\text{НУСМ}]:[\text{ОМ}] \rightarrow^{\text{ОКП}} [\text{РЕАКЦИЯ}] \quad (1)$$

Данная запись интерпретируется следующим образом: начальные условия сеанса моделирования / задание на моделирование (структура [НУСМ]) приложенные к опорной модели (структура [ОМ]), описывающей исследуемую систему (ИС), преобразуются оператором когнитивного преобразования, обозначенного как « $\rightarrow^{\text{ОКП}}$ », в реакцию системы (структура [РЕАКЦИЯ]) на приложенные воздействие.

Ниже представлены описание составляющих соотношения (1):

- структура [НУСМ] (начальные условия сеанса моделирования) определяет исходные данные для сеанса моделирования;
- структура [ОМ] (опорная модель) является описанием исследуемой системы;
- \rightarrow^{OKP} – оператор когнитивного преобразования;
- структура [РЕАКЦИЯ] является результирующей структурой, отражающей результаты моделирования.

Структура [НУСМ] формируется в виде совокупности двух составляющих:

$$[НУСМ] = [ИСХС] \cap^3 [ВОЗД], \quad (2)$$

где [ИСХС] – исходное состояние системы в начале моделирования;

[ВОЗД] – структура воздействия, влияние которого на поведение ИС подлежит исследованию в процессе моделирования.

В (2) оператор \cap^3 означает, что при формировании структуры [НУСМ] значения из состояния системы [ИСХС] заменяются соответствующими значениями воздействия [ВОЗД].

Структура воздействия [ВОЗД] представляет собой подмножество значений ф-нейроконцептов, которые в рамках данного исследования определим, как «ф-нейроконцепты воздействия». Они задают значения воздействий, для изучения влияния которых на систему выполняется процесс моделирования. В соответствии с этим, структура [ВОЗД] формируется как набор пар. В каждой паре первая компонента соответствует номеру ф-нейроконцепта, вторая компонента – задаваемому значению воздействия данного нейроконцепта. Как было указано выше, заданное значение из структуры [ВОЗД] заменяет значение соответствующего ф-нейроконцепта из структуры [ИСХС].

Можно отметить, что структуры [ИСХС] и [ОМ] формируются на стадии создания модели системы и, собственно, описывают модель

исследуемой системы и являются общими для всех сеансов моделирования. Структура [ВОЗД] определяется индивидуально для каждого конкретного сеанса моделирования и может фактически являться заданием для сеанса моделирования.

С точки зрения особенностей динамики определяются следующие варианты воздействий:

- импульсное (мгновенное);
- константное (постоянное);
- динамическое (функциональное).

Импульсное воздействие предполагает его мгновенное разовое приложение, которое действует только в начальный момент (на старте моделирования). После снятия импульса значение воздействия возвращается к исходному из структуры [ИСХС]. Тем не менее, даже такое единичное воздействие порождает переходной процесс формирования структуры [РЕАКЦИЯ] в составе нескольких шагов моделирования. Константное воздействие предполагает его действие на всем временном интервале сеанса моделирования. Динамическое воздействие представляет собой некоторую функцию, действующую во время сеанса моделирования. В данном случае значение фактора воздействия изменяется как функция во времени.

Ранее отмечается, что опорная модель является формальным описанием ИС и формируется в составе двух частей: описания топологии системы, т.е. описание отношений между факторами и причинно-следственными связями и, собственно, множеством значений (весов) таких связей.

Как следует из (1) структуры [НУСМ] и [ОМ] являются исходными данными для реализации ОКП (т.е. выполнения оператора $\rightarrow^{ОКП}$). Оператор преобразования по существу представляет собой последовательность сетевых вычислений, инициируемых от вершин возбуждения. Структура [РЕАКЦИЯ]

является множеством значений всех ф-нейроконцептов, которые формируются в результате сетевых вычислений. Приведенные в статье описания, связанные с соотношением (1), конкретизируются применительно к задачам ФНКС моделирования в соответствии с положениями на примерах обработки импульсного воздействия.

А. Траектория ИС (ТИС) в течении сеанса моделирования представлена набором структур, каждая из которых соответствует определенному шагу (временной точке) сеанса моделирования. Следует отметить, что даже при анализе импульсного воздействия исследуемая реакция значений факторов представляет собой определенный переходной процесс, что связано с многократным (многошаговым) применением оператора преобразования:

$$\text{ТИС} = \{\text{Мн_сост_фнк}(t_k)\}_{k=1\dots K}, \quad (3)$$

где $\text{Мн_сост_фнк}(t_k)$ – множество значений состояний ф-нейроконцептов на k -ом шаге моделирования; K – число ф-нейроконцептов (мощность множества ф-нейроконцептов).

Б. Схема анализа ИС с импульсным воздействием моделирования представляется в виде многошаговой итерационной процедуры, базирующейся на определенной интерпретации соотношения (1):

- Б1. Ввод структур данных описывающих ИС и являющихся исходными для исполнения моделирования – [ИСХС(t_0)], [ОМ];
- Б2. Ввод данных, описывающих воздействие – [ВОЗД] данные сеанса;
- Б3. $k:=0$;
- Б4. Формирование структуры [НУСМ];
- Б5. Исполнение ОКП / формирование структуры [РЕАКЦИЯ(t_0)];
- Б6. Решение о переходе к новому циклу моделирования (переход к выполнению пункта Б7 настоящей процедуры) или завершение процедуры моделирования;
- Б7. $k:=k+1$;

Б8. $[ИСХС(t_k)] := [РЕАКЦИЯ(t_{k-1})]$

Б9. Переход к исполнению нового цикла моделирования (переход к выполнению пункта Б4).

В. Операторы и информационные структуры рассмотренной процедуры характеризуются следующими особенностями.

В1 (ИСХС). В соответствии с введенным выше представлением о траектории системы в процессе моделирования структура $[ИСХС]$ может быть определена:

- при $k=0$ $[ИСХС(t_k)] := Мн_сост_фнк(t_0)$,

где $Мн_сост_фнк(t_0)$ – множество состояний ф-нейроконцептов, определенное на этапе формирования ФНКС;

- при $k=1 \dots K$ $[ИСХС(t_k)] := [РЕАКЦИЯ(t_{k-1})]$

В2 (ОМ). Опорная модель создается на стадии формирования модели ФНКС и не изменяется в процессе моделирования (т.е. не обладает собственной траекторией). Опорная модель определяется в составе двух частей: модели топологии системы ($т_ФНКС$) и множества значений (весов) причинно-следственных связей:

$$ОМ = \{т_ФНКС, Мн_св\},$$

где: $т_ФНКС$ – модель топологии ФНКС;

$Мн_св$ – множество значений (весов) связей влияния.

Учитывая графовую основу ФНКС, модель топологии описывает граф, у которого вершины отображают ф-нейроконцепты, а дуги – связи влияния. В соответствии с этим $т_ФНКС$ представляется матрицами смежности или инциденций [9].

В3 (ВОЗДЕЙСТВИЕ). Как отмечалось выше, указанная структура определяет ф-нейроконцепты и их значения (значения воздействия), влияние которых подлежат анализу или являются воздействиями

внешней среды. Т.е. структура [ВОЗДЕЙСТВИЕ] представляется в виде набора пар:

$$[\text{ВОЗДЕЙСТВИЕ}] = \{ \langle \text{возд}^r, \text{сост_фнк}_{\text{возд}^r} \rangle \}_{r=1 \dots R},$$

где возд^r – номер ф-нейроконцепта воздействия;

R – число ф-нейроконцептов воздействия.

В4. (ОКП). Оператор когнитивного преобразования, обозначаемый в соотношении (1) как « $\rightarrow^{ОКП}$ », заключается в выполнении сетевых вычислений, инициализируемых от ф-нейроконцептов воздействия.

В5. (РЕАКЦИЯ). Структура [РЕАКЦИЯ] представляет собой множество значений ф-нейроконцептов, переопределенных в результате исполнения оператора преобразования, т.е., в результате выполнения сетевых вычислений. В случае импульсного воздействия требуется выполнение нескольких шагов вычислений, определяющих переходной процесс, иницируемый входным воздействием, что соответствует представлению о траектории системы. По существу данная структура содержит вновь вычисленные значения концептов в результате применения ОКП на текущем шаге.

Рассматриваемый в статье оператор когнитивного преобразования за счет построения различных технологических вычислительных схем позволяет формировать различные варианты анализа ИС. Одна из подобных схем исследования реакции на импульсное воздействие рассмотрена выше. Далее в статье рассматриваются две схемы с использованием ОКП: схема анализа на динамическое воздействие и схема подбора управляющих параметров.

Схема анализа динамического воздействия предполагает представление элементов структуры [ВОЗДЕЙСТВИЕ] (т.е соответствующих значений ф-нейроконцептов) в виде функции во времени. Процедура исполнения схемы

динамического воздействия в основном аналогична рассмотренной выше схеме импульсного воздействия за исключением того, что для динамической схемы при синтезе структур [НУСМ] совмещение структур [ИСХС] и [ВОЗДЕЙСТВИЕ] осуществляется не только на первом шаге моделирования, но и на всех последующих.

Рассмотренные выше схемы можно определить, как прямые схемы когнитивного моделирования, которые позволяют из исходного состояния системы и приложенных воздействий сформировать реакцию системы. Вместе с тем, достаточно полезной может быть схема, построенная на ОКП, рассматриваемая, как «обратная задача когнитивного моделирования». В соответствии с данной схемой подлежит определению значение состояний ф-нейроконцептов из структуры [ВОЗДЕЙСТВИЕ], позволяющие сформировать требуемую реакцию.

Как уже отмечалось выше при описании схемы «импульсного воздействия», исходные данные для моделирования разделяются на описание моделируемой системы (данные системы), действующей для всех сеансов моделирования, и описания задания для конкретного сеанса задания на моделирование (данные задачи), что является существенным для рассмотрения «схемы подбора параметров».

Для указанной схемы множество ф-нейроконцептов ($M_n_ФНК$) структурируется следующим образом:

$M_n_ФНК = (M_n_ФНК^{подб}) \cup (M_n_ФНК^{цел}) \cup (M_n_ФНК^{нез}) \cup (M_n_ФНК^{пром})$,
где $M_n_ФНК^{подб}$ – подмножество ф-нейроконцептов, значения которых должны быть подобраны для обеспечения приемлемой реакции ИС. Со смысловой точки зрения эти ф-нейроконцепты описывают факторы управления, т.е. факторы целенаправленного влияния;

$M_n_ФНК^{цел}$ – подмножество ф-нейроконцептов, значения которых должны быть обеспечены в качестве реакции за счет подбора значений

состояний из $M_n_ФНК^{подб}$, со смысловой точки зрения эти ф-нейроконцепты описывают целевые факторы, значения которых необходимо достичь за счет варьирования значениями факторов управления (данные задачи);

$M_n_ФНК^{нез}$ – подмножество независимых входных ф-нейроконцептов, которые относятся к структуре воздействия и не могут целенаправленно варьироваться (данные задачи);

$M_n_ФНК^{пром}$ – подмножество промежуточных ф-нейроконцептов, значения которых используются для выполнения промежуточных вычислений.

С учетом введенной структуризации задача подбора параметров формулируется следующим образом: «Подобрать значения ф-нейроконцептов $M_n_ФНК^{подб}$ таким образом, что их задание в качестве элементов, входящих в структуру [ВОЗДЕЙСТВИЕ], обеспечивает получение в результате моделирования заданных значений целевых ф-нейроконцептов».

Схема «подбора параметров» в основном повторяет рассмотренную выше схему «анализа с импульсным воздействием» с определенными модификациями, формирующими специфику «подбора параметров». Подобная модифицированная процедура представляется в виде последовательности шагов:

1. ввод структуры данных, описывающей ИС [ИСХС(t_0)], [ОМ];
 2. ввод структуры данных, описывающей текущий сеанс;
 3. формирование структуры [НУСМ];
 4. исполнение ОКП / формирование структуры [РЕАКЦИЯ];
 5. анализ значения состояний целевых концептов решение вопроса о переходе к новому шагу моделирования;
 6. формирование / подбор новых значений состояний подбираемых нейроконцептов;
-

7. переход к исполнению шага 3.

Главной особенностью указанной схемы, определяющей ее специфику, являются шаги 5, 6. На шаге 5 осуществляется сравнение заданных и вновь полученных в виде реакции состояний из целевых ф-нейроконцептов и в случае, если разница не превышает некоторую величину, цели моделирования считаются достигнутыми и процесс моделирования прекращается. Полученные на данном шаге значения состояний ф-нейроконцептов определяются как искомые результаты. В случае значительных расхождений осуществляется переход к следующему шагу моделирования с установлением новых значений состояний ф-нейроконцептов подбора, причем в случае числа подбираемых ф-нейроконцептов более 2, данная задача является нетривиальной, особенно при исследованиях на динамических схемах. В этом случае, в зависимости от сложности задачи, могут быть использованы различные методы от простого перебора до использования биоинспирированных методов [10].

Заключение

Рассмотренные в настоящей статье схемы и модели позволяют расширить возможности когнитивного моделирования и повысить уровень адекватности принимаемых решений по результатам моделирования. Использование формальных параметров и процедур позволяет приблизить результаты когнитивных вычислений к реальным характеристикам ИС, формировать более объективные оценки корректности когнитивных моделей.

Различные варианты схем моделирования способствуют более разностороннему анализу ИС, включая анализ динамических воздействий, а также подбор параметров управляющих воздействий, обеспечивающих желаемый уровень реакции ИС. Для программной реализации предложенных моделей используется инструментальная среда SimInTech [11], что позволяет в перспективе, рассматривать как ФНКС в целом, так и отдельные ф-

нейроконцепты в качестве объектов регулирования и исследовать динамические характеристики когнитивных процессов.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-01-00412.

Литература

1. Kolodenkova A.E., Muntyan E.R., Korobkin V.V. Modern approaches to modeling of risk situations during creation complex technical systems // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 875. pp. 209-217. DOI: 10.1007/978-3-030-01821-4_22.

2. Кулинич А.А. Когнитивная система поддержки принятия решений “Канва” // Программные продукты и системы. 2002. №3. С. 23-27.

3. Горелова Г.В. Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. №3. С. 239-250.

4. Колоденкова А.Е. Построение системы когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем для атомных станций // Глобальная ядерная безопасность. 2016. №3(20). С. 43-50.

5. Коц И.Н., Лысенко И.Е., Полякова В.В., Ковалев А.В. Методы диагностики инженерных объектов на основе нейросетей // Инженерный вестник Дона. 2020. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6578.

6. Кондратьева Т.Н., Эксузян К.А. Анализ данных на базе технологии частного облака // Инженерный вестник Дона. 2018. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/5165.

7. Пьявченко А.О., Черный С.А., Шестаков А.В.3, Свирепо Е.А. Организация формально-когнитивных нейросетей для исследования слабоформализуемых систем // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург. 2020. №3(98).

8. Guzik V.F., Gamisonia A.S., Chernyj S.A., Shestakov A.V. Fuzzy Cognitive Maps Considering Real Parameters of Simulated Systems // International Journal of Innovation, Creativity and Change. 2019. Vol. 7. pp. 153-160.
9. Оре О. Теория графов. 2-е изд. М.: Наука, 1980. С. 336.
10. Родзин С.И., Курейчик В.В. Теоретические вопросы и современные проблемы развития когнитивных биоинспирированных алгоритмов оптимизации (обзор) // Кибернетика и программирование. 2017. №3. С. 51-79.
11. Карташов Б.А., Шабаетв Е.А., Козлов О.С., Щекатуров А.М. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech. М.: ДМК Пресс, 2017. 423 с.

References

1. Kolodenkova A.E., Muntyan E.R., Korobkin V.V. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 875. pp. 209-217. DOI: 10.1007/978-3-030-01821-4_22.
 2. Kulinich A.A. Programmnye produkty i sistemy. 2002. №3. pp. 23-27.
 3. Gorelova G.V. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2013. №3. pp. 239-250.
 4. Kolodenkova A.E. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2016. №3 (20). pp. 43-50.
 5. Кос I.N., Lysenko I.E., Polyakova V.V., Kovalev A.V. Inzenernyj vestnik Dona. 2020. №8. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2020/6578.
 6. Kondrat`eva T.N., E`ksuzyan K.A. Inzenernyj vestnik Dona. 2018. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/5165.
 7. P'yavchenko A.O., CHernyj S.A., SHestakov A.V.3, Svirepo E.A. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. Ekaterinburg. 2020. №3 (98).
 8. Guzik V.F., Gamisonia A.S., Chernyj S.A., Shestakov A.V. International Journal of Innovation, Creativity and Change. 2019. Vol. 7. pp. 153-160.
-



9. Ore O. Teoriya grafov [Graph theory]. 2-e izd. Moskva: Nauka, 1980. p. 336.
10. Rodzin S.I., Kurejchik V.V. Kibernetika i programmirovaniye. 2017. №3. pp. 51-79.
11. Kartashov B.A., SHabaev E.A., Kozlov O.S., SHCHekaturov A.M. Sreda dinamicheskogo modelirovaniya tekhnicheskikh sistem SimInTech [Environment for dynamic modeling of technical systems SimInTech]. Moskva: DMK Press, 2017. p. 423.