

УДК 519.179:316.2

doi: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.019

А.А. Целых, М.А. Дедюлина

ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ АКТОР-СЕТЕЙ В ИССЛЕДОВАНИЯХ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

В работе представлены результаты исследования в области моделирования актор-сетей с использованием содержательных теоретико-графовых формализмов, таких как гиперграфы, ориентированные гиперграфы, гиперсети, метаграфы и вложенные метаграфы. Объектом исследования являются, прежде всего, актор-сети социотехнических систем в исследованиях науки и технологий. Авторы проводят параллель между семантикой фундаментального механизма перевода в актор-сети и семантикой RDF-графа, представляемого кортежем из трех элементов. Для моделирования «перевода» в актор-сети предлагается использовать 3-униформный ориентированный гиперграф. Его ориентированные гиперребра компактно и естественным образом отражают роль каждой вершины-актанта, а также концепцию направленности перевода. Для моделирования «черного ящика» в актор-сети, «упаковывание» которого равносильно возникновению новой функциональной единицы с новым названием, с качественно новыми, эмерджентными свойствами, предлагается использовать гиперсети и вложенные метаграфы. В терминах теории гиперсетей «черный ящик» актор-сети – это гиперсимплекс, реальный ассамбляж в основании которого отображается в вершину в сети более высокого уровня. Возникновение гиперсимплексов при переходе между уровнями объясняет системное свойство эмерджентности. Модель вложенного метаграфа допускает связи как между элементами одного уровня, так и между элементами различных уровней, что позволяет наделять «черный ящик» агентивностью и в дальнейшем рассматривать его в качестве актанта в актор-сети. Предлагаемые теоретико-графовые модели позволяют системно изучать актор-сети с использованием богатого математического аппарата теории множеств (в том числе нечетких), что позволит в ближайшей перспективе перейти от качественных исследований к количественным.

Ключевые слова: акторно-сетевая теория, исследования науки и технологий, гиперсеть, метаграф, социосемантическая сеть.

Введение

Проблемы организации и функционирования науки в поле исследования социологов попали во второй половине XX века. Современная социология описывает науку как социальный институт. В связи с этим наука представляется пространством конкуренции между учеными за финансирование научных проектов, за лидерство в сфере патентной деятельности и публикационной активности, за признание в научной среде.

Развитие информационно-коммуникационных технологий обусловило новые способы трансляции научных знаний, новые типы научных коммуникаций, и наряду с этим – новые модели и методы исследования науки.

Активно развиваемый в социологии акторно-сетевой подход [1] первоначально получил известность в междисциплинарных исследованиях науки и технологий (Science and Technology Studies – STS) благодаря наделению агентивностью объектов-не-людей – научных фактов, теорий, знаний и практик, технических артефактов.

С позиции акторно-сетевой теории (АСТ), научная статья является совокупным актантом и центром социотехнической сети по производству научного знания [2], эмерджентным результатом деятельности «коллективного расширенного разума» (socially extended mind) – разума, на который когнитивно влияют используемые инструменты и технологии, а также другие системы интеллекта.

Обзор обширного списка литературы по акторно-сетевой теории обнажает скудный арсенал средств графического представления, строгих математических моделей и программных средств акторно-сетевого анализа, что, на наш взгляд, является основным сдерживающим фактором к росту числа количественных исследований и более широкому практическому применению АСТ.

В контексте акторно-сетевой теории, мы будем вести поиск адекватной математической и графической модели гетерогенной социосемантической сети, которая включает в себя актантов (субъектов-людей и объектов-не-людей) и отношения между ними, что позволит нам анализировать научное творчество, научный текст не в одной плоскости, а в логике узлов, имеющих столько измерений, сколько существует соединений.

Материалы и методы исследования

Моделирование «перевода» в актор-сети

В АСТ перевод – это концепция, которая устраняет разрыв между различными аспектами технологии, создавая конвергенции и гомологии, связывая вещи, которые ранее были разными. [3] Перевод – это процесс, посредством которого объекты и значения технологии связаны в социотехнической сети. Любой перевод является результатом активной работы гетерогенных «носителей» (посредников или Träger).

В свою очередь, «сеть» – это то, что прослеживается посредством таких переводов. Объектом АСТ является движение от одной ассоциации

к другой, переводы между посредниками, прослеживаемые ассоциации между гетерогенными элементами – актантами.

По Латуру [1], перевод – это отношение, которое не просто переносит причинно-следственную связь, а приводит к сосуществованию двух посредников. Перевод осуществляется тогда, когда из-за наличия какого-либо технического посредника, его участия в сети, изменяются способы взаимодействия других акторов, изменяются причинно-следственные связи. Латур различает «проводников» (intermediary) и «посредников» (mediator). Проводник – «это то, что переносит значение или силу, не преобразуя их» [1, с. 58-59]. Посредник – это то, что распространяется между акторами и помогает лучше определить связь между ними. Понятие посредника охватывает разнообразные и разнородные материалы, такие как Рисунки, надписи и тексты (отчеты, научные статьи, законы и т. д.), программное обеспечение, контракты, деньги.

Выбирая адекватный формализм для моделирования перевода в актор-сети, сложно не провести аналогию с RDF (Resource Description Framework) – абстрактной моделью описания связанных данных, которая используется для представления утверждений о ресурсах Семантической паутины [4]. Основу модели RDF представляет кортеж из трех элементов «Субъект – Предикат (свойство) – Объект (значение свойства)», называемый RDF-графом. Для идентификации ресурсов (субъекта, предиката и объекта) используется уникальный идентификатор ресурса – URI (Uniform Resource Identifier), которые однозначно называют некоторый объект, будь это веб-документ или цифровой контент, объект реального мира или некоторое абстрактное понятие.

В RDF-графе субъект – это начальная вершина (хвост), объект – конечная вершина (голова), а предикат – дуга, направленная от субъекта к объекту. Наряду с ориентированными графами, используются альтернативные представления и более мощные теоретико-графовые формализмы: помеченный ориентированный граф, двудольный граф [5], неориентированный гиперграф, ориентированный гиперграф [6], метаграф [7].

Адекватным формализмом для описания механизма перевода в актор-сети представляется 3-униформный (3-однородный) ориентированный гиперграф, то есть ориентированный гиперграф без кратных ребер, у которого степень каждого ребра равна 3.

Информация об актантах хранится в вершинах оргигерграфа. Ориентированные гиперребра компактно и естественным образом отражают роль каждой вершины, а также концепцию направленности

перевода. Заметим, что такой подход требует меньше памяти для хранения данных, чем другие представления: $|V| = |\text{univ}(T)|$, $|E| = |T|$.

Также может быть востребован формализм ориентированного гиперграфа второго рода [8, с. 38], который является обобщением понятия ориентированного графа с позиции разделения множества вершин, образующих ребра, на группы «начало» и «конец» ребра. В ребре ориентированного гиперграфа второго рода некоторые вершины (по крайней мере, одна), могут быть помечены индексом «*», и, по крайней мере, одна из вершин не помечена этим индексом. Для гиперграфа $H = (X, U)$ каждое ребро $u_j \in U$ можно представить в виде ориентированного двудольного графа $G(U) = (X_j \cup X_j^*, \Gamma, \Gamma^*)$, где X_j – множество непомеченных вершин ребра u_j , X_j^* – множество помеченных вершин ребра u_j , а Γ, Γ^* – отображения, заданные для всех непомеченных и помеченных вершин, соответственно. В контексте актор-сетевой теории помеченной вершиной может быть актант-посредник при переводе. Заметим, что для исследования свойств этих графовых формализмов можно привлечь мощный содержательный и формальный аппарат ультраграфов [9].

Моделирование «черного ящика» в актор-сети

Использование термина «черный ящик» для описания технического объекта не является уникальным для АСТ. Эта концепция первоначально использовалась в информатике для обозначения системы с входами и выходами, о внутреннем устройстве которой ничего известно.

«Черные ящики», адаптированные для изучения технологий, представляют собой технические артефакты, которые кажутся самоочевидными и очевидными для наблюдателя. Например, коробка передач в автомобиле, ремень безопасности в самолете или ядерное оружие. В нашем случае таким «черным ящиком» может быть научная статья.

Понятие «черный ящик» в актор-сети используется для определения набора сформировавшихся устойчивых и достаточных отношений между актантами. Б. Латур называет «черным ящиком» множество элементов, которое уже собрано и действует как единое целое, и нас мало интересует природа того, что именно собрано, связано и упаковано вместе [1]. Множество элементов работают как один, и настолько предсказуемо, что нам необязательно знать принцип их сборки [10]. Пример «черного ящика» – это значимое открытие (изобретение, идея), которое

рассеивается в общественной практике. Появление «черного ящика» равносильно возникновению новой функциональной единицы, которая получит новое название, с качественно новыми, эмерджентными свойствами. Открытие «черного ящика» технологий ведет к исследованию того, как связаны элементы в социотехнической сети.

Важное значение для поиска способов моделирования «черного ящика» имеет понятие «ассоциация» в теории коннектомики [11]. Сегодня это одно из передовых и самых масштабных направлений исследований работы мозга, посвященное моделированию всей совокупности связей между нейронами нервной системы организма – коннектома (по аналогии с геномом).

Новые ассоциации появляются в процессе обучения и накопления нового опыта. Когда два нейрона активируются последовательно, усиливается синапс, направленный от первого ко второму. Когда два нейрона активируются одновременно, синапсы между ними усиливаются симметрично в обоих направлениях. Набор нейронов, которые связаны друг с другом через сильные синапсы, образует структуру, называемую клеточным ансамблем. Для хранения множества воспоминаний требуется множество ансамблей, которые частично перекрываются. [11] При этом в коннектоме сохраняется множество слабых синапсов, которые не оказывают влияния на процесс припоминания.

Таким образом, в модели психического процесса вспоминания нейроном или множеством нейронов представлена идея, связями между нейронами – совокупность (ассоциация) идей, клеточным ансамблем или синаптической цепочкой – воспоминание. Восприятие (перцепция) – это ассоциация идеи с раздражителем, в свою очередь, мысль – это ассоциация идеи с другой идеей. [11]

Идеи коннекционистов получили развитие в работах К.В. Анохина по гиперсетевой теории мозга [12, 13]. По Анохину, разум обладает зернистой структурой, он состоит из когов – распределенных групп нейронов, сцепленных единым когнитивным опытом и образующих между собой устойчивые связи – локи. Коги и локи образуют сеть – когнитом. Совокупности связанных элементов сети нижнего уровня (клеточному ансамблю) соответствует элемент верхнего уровня (ког).

Анохин обращается к математическому аппарату гиперсетей [14-17] (называя их нейронными гиперсетями), который позволяет моделировать более сложные структуры, чем сети, графы и гиперграфы. В терминах алгебраической топологии ког – это реляционный симплекс или гиперсимплекс. Реляционным такое структурированное множество элементов называется потому, что их отношения эксплицитно заданы.

Вершина кога получает имя, соответствующее когнитивной информации, которую несет данный ког. По Анохину, гиперсети являются не просто синтезом различных представлений науки о сетях, а представляют собой качественно новую теорию, адекватно отображающую феномены эмерджентности в многоуровневых системах.

Проводя очевидные параллели, актор-сеть можно охарактеризовать как сложную сеть с эмерджентностью – такую сеть, в которой отдельно взятый фрагмент, состоящий из вершин и связей, может выступать как единое целое. В терминах теории гиперсетей «черный ящик» актор-сети есть не что иное, как гиперсимплекс, реальный ассамбляж [18] в основании которого отображается в вершину более высокого уровня с помощью функции «сборки» (assembly relation). Возникновение гиперсимплексов при переходе между уровнями объясняет системное свойство эмерджентности, которым мы выше охарактеризовали «черный ящик».

Основания гиперсимплексов могут пересекаться, индуцируя связность и решетчатые структуры (решетки Галуа). Многоуровневые системы могут содержать композиции отношений. Что важно в аспекте актор-сети как социотехнической системы, гиперсети поддерживают устойчивую структуру (backcloth) и динамику активности (traffic) в многоуровневых системах [17]. Формирование гиперсимплекса можно рассматривать как событие в системе, и с помощью таких структурных событий измерять время в системе. Теория многогранных событий [19] утверждает, что структурные события связаны с принятым часовым временем нелинейно в соответствии с числом измерений; поэтому в часовом времени ждать событий высокой размерности приходится дольше, чем простые события.

Однако для нашей задачи формализм простой гиперсети имеет ряд существенных ограничений. Во-первых, он не позволяет в полной мере описать агентивность «черного ящика» [20]. Во-вторых, ребра в основании простой гиперсети не имеют ориентации, которая необходима для формализации отношения перевода в актор-сети.

Этих ограничений должна быть лишена искомая иерархическая графогиперграфовая модель, допускающая различные уровни обобщения. Достаточный полный спектр отношений рассмотрен нами в работах [21, 22] и представлен на Рисунке 1.

Рассмотрим модель метаграфа [23]. В метаграфе $MG = (V, MV, E)$, V – множество вершин; E – множество ребер, которые определены на множестве V ; MV – множество метавершин, которые определены на множестве $V \cup MV \cup E$.

Метавершина может включать как вершины (или метавершины), так и ребра. Ребро метаграфа может соединять вершины внутри одной метавершины, вершины между различными метавершинами, метавершины, а также вершины и метавершины. [23]

В [24], наряду с понятием метаграфа, вводится понятие вложенного метаграфа (n -уровневого графа) как обобщения обычных графов, гиперграфов и метаграфов. Вложенный метаграф допускает ориентацию ребер.

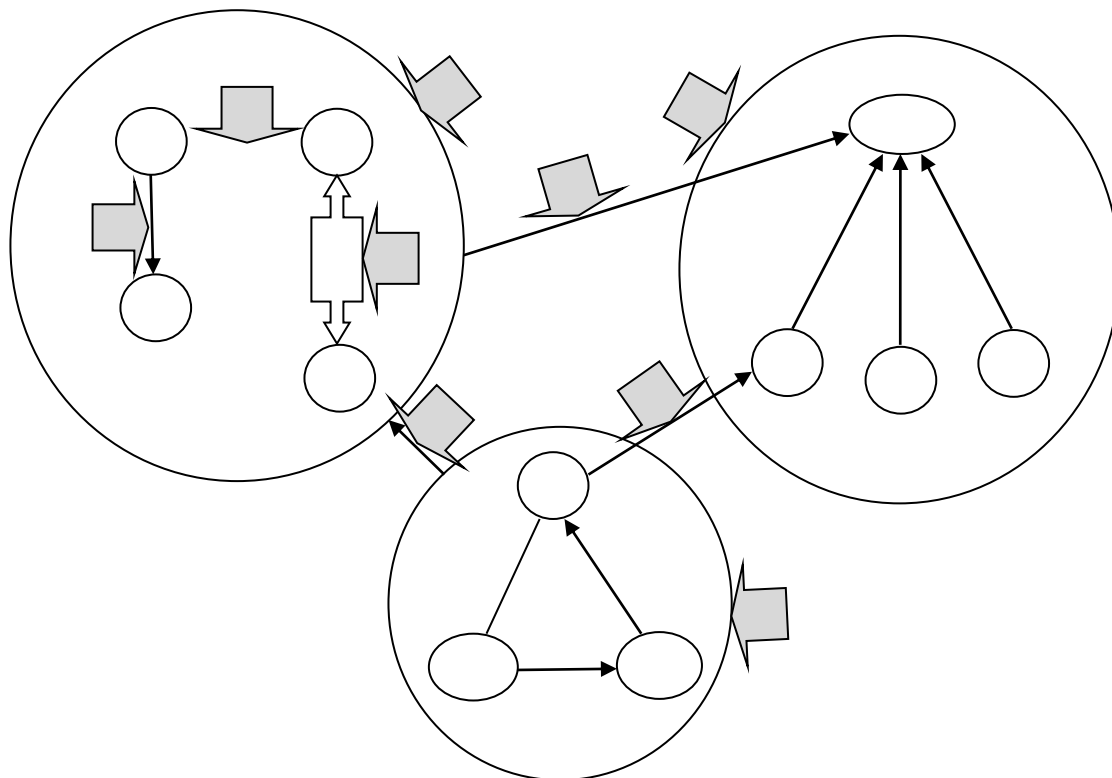


Рисунок 1 – Типы возможных отношений в иерархической графогиперграфовой модели [22]

Метаграф вложенности 2 – это упорядоченная пара $G = (X, E)$, где $X = \{x_i\}$, $i = \overline{1,2}$ – конечное непустое множество вершин, при этом определена функция (назовем ее функцией сборки) $f_1^l : g_1^l(x_1^l, e_1^l) \rightarrow x_2^p$, $E = \{e_k\}$, $k = \overline{1,m}$ – множество ребер графа, где $e_k = (V_i, W_i)$, $V_i, W_i \subseteq X$, $V_i \cup W_i \neq \emptyset$, т.е. каждое ребро графа соединяет два подмножества множества вершин. [24] Метаграф вложенности 2, у которого между вершинами второго уровня есть хотя бы одно ребро, является метаграфом. Метаграф вложенности 2, у которого между вершинами второго уровня нет ребер, является гиперграфом.

Метаграф вложенности 3 (ориентированный 3-уровневый граф) – это упорядоченная пара $G=(X,E)$, где $X=\{x_i\}$, $i=\overline{1,3}$ – конечное непустое множество вершин, при этом определена функция сборки $f_1^l : g_1^l(x_1^l, e_1^l) \rightarrow x_2^p$, $f_2^p : g_2^p(x_2^p, e_2^p) \rightarrow x_3^r$; $E=\{e_k\}$, $k=\overline{1,m}$. В общем случае вершины x_2^p являются ребрами графов $g_1^l(x_1^l, e_1^l)$, а вершины x_3^r являются гиперребрами гиперграфов $g_2^p(x_2^p, e_2^p)$.

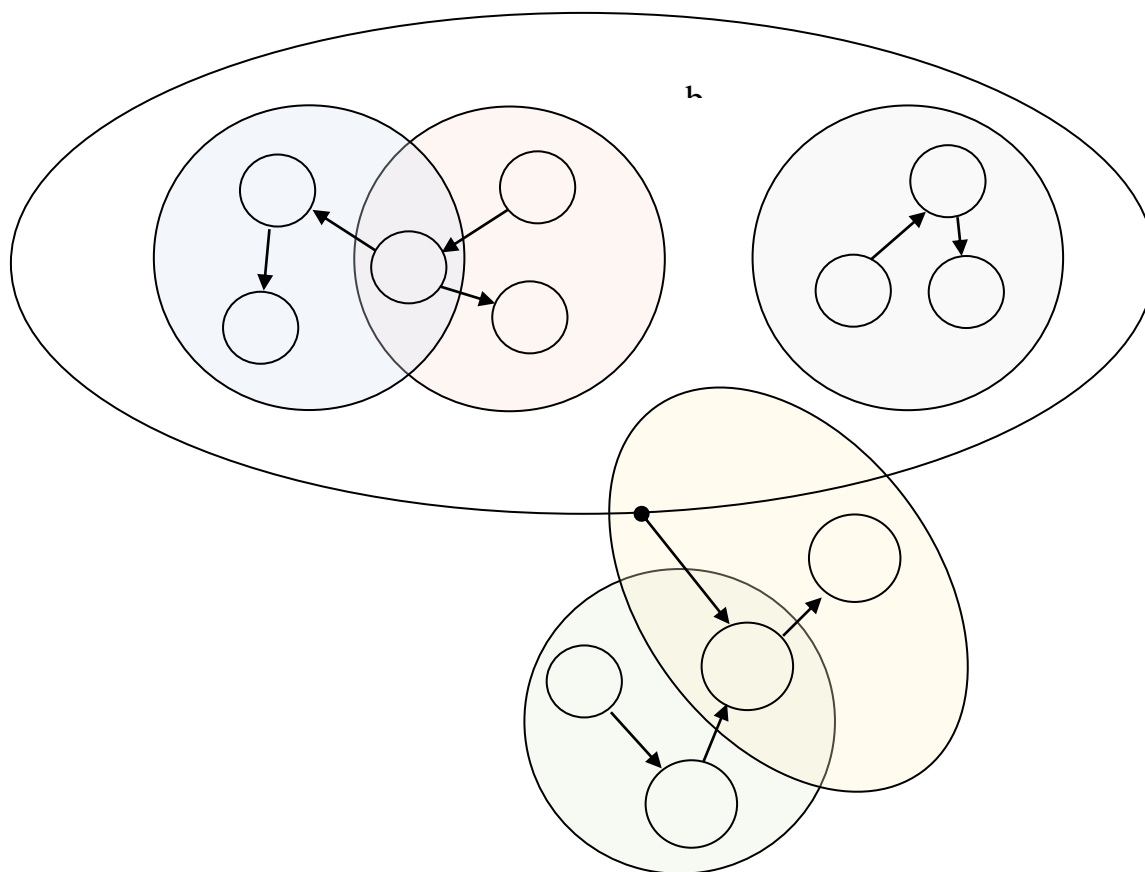


Рисунок 2 – Модель актор-сети в виде вложенного метаграфа уровня 3

Гиперсимплекс как совокупность элементов различных уровней может быть представлен в виде метавершины. Таким образом, метаграфы и гиперсети являются различными формализмами для описания одних и тех же процессов, которые происходят в сетях с эмерджентностью [16].

Во вложенном метаграфе на Рисунке 2 в отношении перевода, которое представлено ориентированным гиперребром $t_2 \in E$, актанта $a_3 \in X$ выступает посредником. Этот же актанта при переводе t_1 выполняет

иную роль. Переводы могут не иметь общих вершин $t_3 \cap (t_1 \cup t_2) = \emptyset$. Подмножество переводов, упакованное в «черный ящик», образует гиперсимплекс – метавершину bb_1 . В отношении перевода t_5 ребро метаграфа соединяет вершину a_{11} и метавершину bb_1 .

Результаты

Полученные результаты позволяют моделировать механизм «перевода» и «черный ящик» в актор-сетях с позиции системного подхода. В контексте акторно-сетевой теории предлагаемая модель вложенного метаграфа имеет ряд преимуществ перед гиперграфами и гиперсетями:

1. Ориентация ребер 3-униформного ориентированного гиперграфа первичной сети метаграфа позволяет естественным образом моделировать механизм перевода в актор-сети.
2. В метаграфе нет специальных требований к регулярной структуре уровней и их строгой послойной дифференциации.
3. Свойство эмерджентности в актор-сети, представленной метаграфом, может проявляться между уровнями, которые не обязательно являются соседними, что дает свободу в определении функции «сборки».
4. С помощью метаграфовой модели можно исследовать связи и отношения как между элементами одного уровня, так и между элементами различных уровней, что позволяет наделять «черный ящик» агентивностью и в дальнейшем рассматривать его в качестве актанта в актор-сети.

Обсуждение

Критический анализ исследований в области моделирования актор-сетей выявил следующие попытки выразить АСТ в графическом формате: набор связанных концепций моделирования для анализа политической ситуации на основе динамического анализа сети акторов [25]; диаграммы, аналогичные картам разума, для моделирования онлайн-сообществ [26]; набор представлений динамической сети для анализа устойчивости актор-сети через траекторию трансформаций в соответствии с процессной моделью Латура в целях информационной безопасности [27]; графический синтаксис для представления семантики структурной модели актор-сети как концептуальная основа для изучения коллективных социотехнических процессов в информационных системах [28]; «полноматричный» подход к картографированию социосемантических сетей на примере анализа сообщений в Twitter, который позволяет сместить фокус с социальных акторов и их семантики на совместный анализ акторов и тем [29]; «полная

двумодальная сеть», позволяющая выявить и исследовать связи, между артефактами, опосредованные акторами [30]. Исследования в этом направлении ведет и Бруно Латур [31].

Однако, в большинстве работ по АСТ исследователи ограничиваются представлением элементов и отношений на естественном языке. Допуская, что ученый – это, в первую очередь, эксперт в своей научной отрасли, а не специалист по моделированию, именно графическое представление наиболее информативно. Сочетая в себе простоту и наглядность с развитым математическим аппаратом теории графов и гиперграфов, предложенные модели призваны стимулировать рост числа количественных исследований в АСТ и ее более широкое практическое применение.

Заключение

В работе представлены результаты исследования в области моделирования механизма «перевода» и «черного ящика» в актор-сетях с использованием гиперграфов, ориентированных гиперграфов, гиперсетей, метаграфов и вложенных метаграфов.

Ориентированные гиперребра компактно и естественным образом отражают роль каждой вершины, а также концепцию направленности перевода в актор-сети. Возникновение гиперсимплексов при переходе между уровнями с помощью функции сборки объясняет свойство эмерджентности, характеризующее «черный ящик». Системная, холистическая модель вложенного метаграфа допускает связи как между элементами одного уровня, так и между элементами различных уровней, что позволяет наделять «черный ящик» агентивностью и в дальнейшем рассматривать его в качестве актанта в актор-сети.

Создан задел для исследования структурных свойств актор-сетей с позиции теории множеств, в том числе нечетких, с использованием алгоритмов на графах и гиперграфах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-01-00243, а также в рамках внутреннего гранта Южного федерального университета № ВнГр-07/2017-28.

ЛИТЕРАТУРА

1. Латур, Б. Пересборка социального: введение в акторно-сетевую теорию / Бруно Латур; пер. с англ. И. Полонской. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. – 384 с.

2. Попова, Н. Г. Научная статья как ядро социотехнической сети по производству знания / Н. Г. Попова // Социология науки и технологий. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 68-84.
3. Callon, M. Struggles and Negotiations to Define what is Problematic and what is not: The Socio-logic of Translation. In K. Knorr, R. Krohn & R. Whitley (eds.) *The Social Process of Scientific Investigation*, Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Co., 1981.
4. Среда описания ресурса (RDF): Понятия и абстрактный синтаксис. – Режим доступа: https://www.w3.org/2007/03/rdf_concepts_ru/
5. Hayes, J. A Graph Model for RDF. Diploma theses, Technische Universitat Darmstadt, 2004. <https://users.dcc.uchile.cl/~cgutierr/papers/rdfgraphmodel.pdf>
6. Martinez-Morales, A. A Directed Hypergraph Formal Model for RDF. Workshop on Semantic Web, Ontologies and Databases, Universidad Simón Bolívar, Venezuela, February 12, 2008. <http://ldc.usb.ve/~mvidal/workshop/amadis.pdf>
7. Самохвалов, Э. Н. Использование метаграфов для описания семантики и прагматики информационных систем / Э. Н. Самохвалов, Г. И. Ревунков, Ю. Е. Гапанюк // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2015. – № 1. – С. 83-99.
8. Берштейн, Л. С. Нечеткие графы и гиперграфы / Л. С. Берштейн, А. В. Боженюк. – М.: Научный мир, 2005. – 256 с.
9. Целых, А. А. Разработка и исследование методов и алгоритмов для моделирования адаптивных веб-ресурсов на основе нечетких ультраграфов : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.17 / Целых Алексей Александрович. – Таганрог, 2005. – 156 с.
10. Латур, Б. Нового Времени не было. Эссе по симметричной антропологии / Бруно Латур – СПб.: Издательство Европейского ун-та в С.-Петербурге, 2006. – 240 с.
11. Сеунг, С. Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть [Электронный ресурс] / Себастьян Сеунг; пер. с англ. А. Капанадзе. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014.
12. Анохин, К. В. Когнитом – гиперсетевая модель мозга / К. В. Анохин // Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика – 2015», Научная сессия НИЯУ МИФИ. – Москва. – 2015.
13. Анохин, К. В. Когнитом: разум как физическая и математическая структура / К. В. Анохин // Семинар по социофизике имени Д. С. Чернавского (Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова), Россия, Москва, 11 октября 2016 года.

14. Попков, В. К. Математические модели связности / В. К. Попков. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, 2006. – 490 с.
15. Гапанюк, Ю. Е. Метаграфовый подход для описания информационных систем / Ю. Е. Гапанюк // Междисциплинарный семинар «Экобионика» (МГТУ им. Н. Э. Баумана), Россия, Москва, 22 ноября 2016 года. – Режим доступа: http://seen49.pythonanywhere.com/mysite/files/metagraphs_ecobionics.pdf
16. Метаграфовый подход для описания гибридных интеллектуальных информационных систем / В. М. Черненький, Ю. Е. Гапанюк, Г. И. Ревунков, В. И. Терехов, Ю. Т. Каганов // Прикладная информатика. – 2017. – Т. 2, № 3 (69). – С. 57-79.
17. Johnson, J. H. Hypernetworks for reconstructing the dynamics of multilevel systems. Proc. European Conference on Complex Systems, ECCS'06, Oxford, 25-29 September 2006.
18. Харман, Г. Сети и ассамбляжи: возрождение вещей у Латура и Деланда / Грэм Харман // Логос. – 2017. – Т. 27, № 3. – С. 1-34.
19. Atkin, R. H. Multidimensional Man, Penguin Books (Harmondsworth), 1981. – 196 p.
20. Напреенко, И. В. Делегирование агентности в концепции Бруно Латура: как собрать гибридный коллектив киборгов и антропоморфов? / И. В. Напреенко // Социология власти. – 2015. – Т. 27, № 1. – С. 108-120.
21. Сергеев, Н. Е. Нечеткие теоретико-графовые подходы к моделированию и анализу социосемантических сетей знаний для задач принятия решений в научной и научно-технической экспертизе / Н. Е. Сергеев, А. А. Целых // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №09(123). – С. 1-21. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/27.pdf>
22. Сергеев, Н. Е. Методы построения социосемантических сетей знаний / Н. Е. Сергеев, А. А. Целых // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/113-11462>
23. Globa, L., Ternovoy, M., Shtogrina, O., and Kryvenko, O. Based on force-directed algorithms method for metagraph visualization. Advances in Intelligent Systems and Computing, 342. – Pp. 359-369.
24. Астанин, С. В. Вложенные метаграфы как модели сложных объектов / С. В. Астанин, Н. В. Драгныш, Н. К. Жуковская // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]. – 2012. – Т. 23. № 4-2. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1434>

25. Bots, P.W.G., van Twist, M.J.W., and van Duin, R. Designing a power tool for policy analysts: dynamic actor network analysis. In Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, Hawaii, (HICSS'99) – 1999. – Vol. 6.
26. Potts, L. Diagramming with actor network theory: a method for modeling holistic experience. In IEEE International Professional Communication Conference (IPCC 2008), Montreal, Quebec, Canada. – 2008. – Pp. 1-6.
27. Tsohou, A., Karyda, M., Kokolakis, S., and Kiountouzis, E. Analyzing trajectories of information security awareness // Information Technology & People, 2012, Vol. 25, № 3. – Pp. 327-352.
28. Silvis, E., and Alexander P. A study using a graphical syntax for actor-network theory // Information Technology & People, 2014, Vol. 27, Issue 2. – Pp. 110-128.
29. Helsten I., and Leyesdorff L. Automated Analysis of Topic-Actor Networks on Twitter: New approach to the analysis of socio-semantic networks. November 2017. arXiv:1711.08387. <http://arxiv.org/abs/1711.08387>
30. Градосельская, Г. В. Сетевые измерения в социологии: учеб. пособие / Г. В. Градосельская; под ред. Г. С. Батыгина. – М.: Издательский дом «Новый учебник», 2004. – 248 с.
31. ANTA or Actor Network Text Analyzer [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/medialab/ANTA>

A.A. Tselykh, M.A. Dedyulina

GRAPH-THEORETIC APPROACHES TO MODELING ACTOR-NETWORKS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY STUDIES

Southern Federal University, Taganrog, Russia

This paper provides results of a study on modeling actor-networks using such formalisms as hypergraphs, directed hypergraphs, hypernetworks, metagraphs, and nested metagraphs. The object of our research are actor-networks of sociotechnical systems in science and technology studies. We draw a parallel between the semantics of a fundamental mechanism of translation in an actor-network and the semantics of RDF-graph given by a 3-tuple of elements. We suggest using a 3-uniform directed hypergraph to model translation in an actor-network. The directed hyperedges represent, in a compact and natural way, the role of every actant, taking into account the orientation of a translation. To model «black box» in actor network, we suggest using hypernetworks and nested metagraphs. Packing a «black box» is equivalent to the emergence of a new functional unit, with a new name and new emergent properties. In terms of the theory of hypernetworks, «black box» in an actor-network is a hypersimplex. Real assemblage in the basis of hypersimplex is mapped to the node in a higher-order network. The system property of emergency is held due to the emergence of hypersimplexes during the transitions between the levels. Nested metagraph model allows for the links both between elements on one level and on distinct levels that is critical for modeling agentivity of a «black box» as an actant in an actor-network. We

introduce graph theoretical models that allow for system studies of actor-networks using rich mathematical apparatus of a set theory (as well as fuzzy set theory). We believe our contribution will encourage the quick transition from mainly qualitative to quantitative studies in actor-network theory.

Keywords: actor-network theory, science and technology studies, hypersimplex, metagraph, sociosemantic network.

REFERENCES

1. Latur, B. Peresborka social'nogo: vvedenie v aktorno-setevuyu teoriyu / Bruno Latur; per. s angl. I. Polonskoi. – M.: Izd. dom Vysshei shkoly ekonomiki, 2014. – 384 s.
2. Popova, N. G. Nauchnaya stat'ya kak yadro sociotekhnicheskoi seti po proizvodstvu znaniya / N. G. Popova // Sociologiya nauki i tekhnologii. – 2017. – T. 1, № 1. – S. 68-84.
3. Callon, M. Struggles and Negotiations to Define what is Problematic and what is not: The Socio-logic of Translation. In K. Knorr, R. Krohn & R. Whitley (eds.) The Social Process of Scientific Investigation, Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Co., 1981.
4. Sreda opisaniya resursa (RDF): Ponyatiya i abstraktnyi sintaksis. – Rejim dostupa: https://www.w3.org/2007/03/rdf_concepts_ru/
5. Hayes, J. A Graph Model for RDF. Diploma theses, Technische Universitat Darmstadt, 2004. <https://users.dcc.uchile.cl/~cguiter/papers/rdfgraphmodel.pdf>
6. Martinez-Morales, A. A Directed Hypergraph Formal Model for RDF. Workshop on Semantic Web, Ontologies and Databases, Universidad Simón Bolívar, Venezuela, February 12, 2008. <http://ldc.usb.ve/~mvidal/workshop/amadis.pdf>
7. Samohvalov, E. N. Ispol'zovanie metagrafov dlya opisaniya semantiki i pragmatiki informacionnyh sistem / E. N. Samohvalov, G. I. Revunkov, YU. E. Gapanyuk // Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. Priborostroenie. – 2015. – № 1. – S. 83-99.
8. Bershtein, L. S. Nechetkie grafy i gipergrafy / L. S. Bershtein, A. V. Bojenyuk. – M.: Nauchnyi mir, 2005. – 256 s.
9. Celyh, A. A. Razrabotka i issledovanie metodov i algoritmov dlya modelirovaniya adaptivnyh veb-resursov na osnove nechetkih ul'tragrafov : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.13.17 / Celyh Aleksei Aleksandrovich. – Taganrog, 2005. – 156 c.
10. Latur, B. Novogo Vremeni ne bylo. Esse po simmetrichnoi antropologii / Bruno Latur – SPb.: Izdatel'stvo Evropeiskogo un-ta v S.-Peterburge, 2006. – 240 s.

11. Seung, S. Konnektom. Kak mozg delaet nas tem, chto my est' [Elektronnyi resurs] / Sebast'en Seung; per. s angl. A. Kapanadze. – M.: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2014.
12. Anohin, K. V. Kognitom – gipersetevaya model' mozga / K. V. Anohin // Materialy XVII Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferencii «Neiroinformatika – 2015», Nauchnaya sessiya NIYAU MIFI. – Moskva. – 2015.
13. Anohin, K. V. Kognitom: razum kak fizicheskaya i matematicheskaya struktura / K. V. Anohin // Seminar po sociofizike imeni D. S. Chernavskogo (Himicheskii fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova), Rossiya, Moskva, 11 oktyabrya 2016 goda.
14. Popkov, V. K. Matematicheskie modeli svyaznosti / V. K. Popkov. – Novosibirsk: IVMiMG SO RAN, 2006. – 490 s.
15. Gapanyuk, YU. E. Metagrafovyi podhod dlya opisaniya informacionnykh sistem / YU. E. Gapanyuk // Mejdisciplinarnyi seminar «Ekobionika» (MGTU im. N. E. Baumana), Rossiya, Moskva, 22 noyabrya 2016 goda. – Rejim dostupa: http://seen49.pythonanywhere.com/mysite/files/metagraphs_ecobionics.pdf
16. Metagrafovyi podhod dlya opisaniya gibridnykh intellektual'nykh informacionnykh sistem / V. M. Chernen'kii, YU. E. Gapanyuk, G. I. Revunkov, V. I. Terehov, YU. T. Kaganov // Prikladnaya informatika. – 2017. – T. 2, № 3 (69). – S. 57-79.
17. Johnson, J. H. Hypernetworks for reconstructing the dynamics of multilevel systems. Proc. European Conference on Complex Systems, ECCS'06, Oxford, 25-29 September 2006.
18. Harman, G. Seti i assamblyaji: vozrozhdenie veschei u Latura i Delanda / Grem Harman // Logos. – 2017. – T. 27, № 3. – S. 1-34.
19. Atkin, R. H. Multidimensional Man, Penguin Books (Harmondsworth), 1981. – 196 p.
20. Napreenko, I. V. Delegirovanie agentnosti v koncepcii Bruno Latura: kak sobrat' gibridnyi kollektiv kiborgov i antropomorfov? / I. V. Napreenko // Sociologiya vlasti. – 2015. – T. 27, № 1. – S. 108-120.
21. Sergeev, N. E. Nechetkie teoretiko-grafovye podhody k modelirovaniyu i analizu sociosemanticheskikh setei znaniy dlya zadach prinyatiya reshenii v nauchnoi i nauchno-tehnicheskoi ekspertize / N. E. Sergeev, A. A. Celyh // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi jurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyi jurnal KubGAU) [Elektronnyi resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №09(123). – S. 1-21. – Rejim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/09/pdf/27.pdf>

22. Sergeev, N. E. Metody postroeniya sociosemanticheskikh setei znaniy / N. E. Sergeev, A. A. Celyh // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2013. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/113-11462>
23. Globa, L., Ternovoy, M., Shtogrina, O., and Kryvenko, O. Based on force-directed algorithms method for metagraph visualization. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 342. – Pp. 359-369.
24. Astanin, S. V. Vlojennye metagrafy kak modeli slojnyh ob`ektov / S. V. Astanin, N. V. Dragnysh, N. K. Jukovskaya // *Injenernyi vestnik Dona [Elektronnyi resurs]*. – 2012. – Т. 23. № 4-2. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1434>
25. Bots, P.W.G., van Twist, M.J.W., and van Duin, R. Designing a power tool for policy analysts: dynamic actor network analysis. In *Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, Maui, Hawaii, (HICSS'99) – 1999. – Vol. 6.*
26. Potts, L. Diagramming with actor network theory: a method for modeling holistic experience. In *IEEE International Professional Communication Conference (IPCC 2008), Montreal, Quebec, Canada. – 2008. – Pp. 1-6.*
27. Tsohou, A., Karyda, M., Kokolakis, S., and Kiountouzis, E. Analyzing trajectories of information security awareness // *Information Technology & People*, 2012, Vol. 25, № 3. – Pp. 327-352.
28. Silvis, E., and Alexander P. A study using a graphical syntax for actor-network theory // *Information Technology & People*, 2014, Vol. 27, Issue 2. – Pp. 110-128.
29. Helsten I., and Leyesdorff L. Automated Analysis of Topic-Actor Networks on Twitter: New approach to the analysis of socio-semantic networks. November 2017. arXiv:1711.08387. <http://arxiv.org/abs/1711.08387>
30. Gradosel'skaya, G. V. *Setevye izmereniya v sociologii: ucheb. posobie* / G. V. Gradosel'skaya; pod red. G. S. Batygina. – M.: Izdatel'skii dom «Novyi uchebник», 2004. – 248 s.
31. ANTA or Actor Network Text Analyzer [Elektronnyi resurs] URL: <https://github.com/medialab/ANTA>