УДК [004.942+519.171.2 +519.179.1]

АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ *GH*-МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Е.Р. МУНТЯН, канд. техн. наук

Южный федеральный университет, пер. Некрасовский, 44,
347928, Таганрог, e-mail: ermuntyan@sfedu.ru

© Мунтян Е.Р., 2020

Для мониторинга и моделирования отношений субъектов и групп субъектов предложены модифицированные графовые и гиперграфовые модели в соответствии с классификацией видов социальных отношений. Модификация графовых моделей заключается в сочетании однотипных, разнотипных и множественных связей в виде вектора. Модифицированные гиперграфовые модели отличаются использованием в своей структуре отдельных компонентов *GH*-графов, связей между вершиной и гиперребром, а также связей между двумя гиперребрами. Преимущества предложенных *GH*-моделей заключаются в уменьшении времени выполнения анализа данных в системах с разнотипными информационными потоками за счет использования множественных связей в виде вектора между вершинами, позволяющих объединить несколько разнотипных связей в одну.

Ключевые слова: актор, социальная сеть, социальные отношения, субъект, нечеткий *GH*-граф, нечеткий *GH*-гиперграф, нечеткая *GH*-модель, разнотипные связи, множественные связи.

DOI: 10.46573/2658-5030-2020-3-113-121

ВВЕДЕНИЕ

Содержание бесед субъектов в социальных сетях отражает как личные, так и общественные проблемы. Исследование озвученных в социальных сетях проблем требует определения и формализации подходов. В качестве моделей исследования социальных отношений обычно используют графы и их обобщения. Проведенные исследования в области моделирования возможных социальных отношений между субъектами на графах и гиперграфах [1, 2], в том числе для решения задачи возможности распространения информации в социальных сетях [3, 4] позволили обосновать необходимость модернизации существующих моделей и предложить пути решения [5, 6]. Все это обусловливает требование формализации субъекта, который выполняет некоторые действия в социальной сети, а также отношений между субъектами.

Сущности, в соответствии с *Actor-Network Theory* Б. Латура (B. Latour) [7, 8] и его последователей Дж. Ло и А. Мола [9, 10], рассматриваются в качестве действующих единиц социальных отношений (акторов). Совокупность акторов и взаимоотношения между ними создают плоскую динамическую сеть, которая определяет их взаимодействие. В рамках данной статьи под акторами будут пониматься субъекты, обладающие общим функционалом в сети отношений с целью осуществления совместных действий (например, участия в информационном обмене в социальной сети).

Предложена классификация возможных видов социальных отношений:

1) отношения между субъектами:

однотипные;

разнотипные;

2) однотипные отношения между субъектами и группами субъектов;

3) однотипные отношения между группами субъектами.

Для исследования отношений вида 1 возможно использование графов, позволяющих учесть кратные однотипные и разнотипные ребра [11, 12]. Однако в таких графах с увеличением количества ребер резко возрастает вычислительная нагрузка модели. Для решения этой проблемы в работе [13] предложено использование нечетких графов с однотипными, разнотипными и множественными связями в виде вектора. Для моделирования отношений субъектов и их групп (отношения вида 1–3) возникает необходимость применения гиперграфовых моделей, позволяющих объединить элементы графов в группы, а также представить связи между элементами, группами элементов. В дальнейшем в статье такие гиперграфы будем называть *GH*-гиперграфы. Аббревиатура *GH* предложена в работе [14] и фактически предлагает интеграцию элементов графов в гиперграфы (*Graph-Hypergraph*). Поскольку граф является частным случаем гиперграфа, то позволим себе аббревиатуру «*GH*» применить к графам. Тогда в рамках данной статьи графы, учитывающие однотипные, разнотипные и множественные связи в виде вектора, будем называть *GH*-графами; гиперграфы, учитывающие связи *GH*-графа, а также связи между вершинами и группами вершин, – *GH*-гиперграфами, в общем случае – *GH*-моделями.

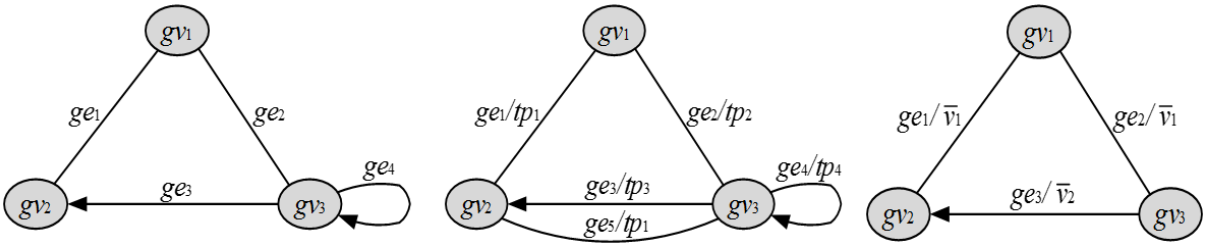
МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

Представление социальных отношений в нечетких *GH*-графах с учетом множественных и разнотипных связей. Нечеткий *GH*-граф формально задан как $G' = (Gv, Ge)$, где $Gv = \{gv_i\}$ – множество вершин; $Ge = \{ge_j\}$ – множество ребер (связей) графа (gv – graph vertex, ge – graph edge). В качестве элементов графа G' рассматриваются однотипные или разнотипные вершины gv_i, которые имеют вес ($\eta \in [0; 1]$). Вершины графа соответствуют акторам в модели исследования. Связи могут быть однонаправленными ($gv_i \rightarrow gv_j$) и двунаправленными ($gv_i – gv_j$) и имеют веса ($\mu \in [0; 1]$). Множество связей такого графа включает однотипные ($gv_i – gv_j$ и $gv_i \rightarrow gv_j$), разнотипные ($gv_i – tp – gv_j$ и $gv_i – tp \rightarrow gv_j$, где tp – *type*) и множественные связи в виде вектора (связи $gv_i – \bar{v} \rightarrow gv_j$ и $gv_i – \bar{v} – gv_j$). Ребро в виде вектора позволяет объединить t разнотипных связей и представляется в виде $\bar{v} = <v_1, v_2, \ldots, v_t>$, где t – размерность вектора, или кратность ребра $\bar{v}$. Каждое ребро вектора $\bar{v}$ имеет собственную идентификацию и отдельный вес. Связи графа G' соответствуют отношениям между акторами.

Весам вершин и связей может придаваться различный смысл, в том числе достоверности или степени принадлежности нечеткому множеству; они могут быть постоянными или вычисляемыми посредством фаззификации [15, 16]. Далее в статье граф G' будем обозначать как нечеткий *GH*-граф (или как граф с учетом множественных и разнотипных связей).

Примеры нечетких графов G'_1–G'_3 с возможными видами связей изображены на рис. 1. В каждом графе вершина gv_i соответствует актору a_i. Двунаправленные связи представляют возможность обмена информацией, а однонаправленные связи демонстрируют отношения акторов. Интерпретация связей графов G'_1–G'_3 представлена в табл. 1. С учетом табл. 1 каждый путь в любом из рассмотренных графов может быть представлен определенной фразой. Например, фраза «актор a_2 (соответствующий

вершине gv_2), который склонен к самообразованию (tp_4 – «самообразовываться») благодаря общению (tp_2 – «обмениваться информацией в сети Instagram») с актором a_1 (вершина gv_1), может оказать влияние (tp_1 – «влиять») на принятие решения актором a_2 (вершина gv_2)» соответствует пути в графе G'_2, S_1 (G'_2) = (ge_2, ge_4, ge_3).



(а) (б) (в)

Рис. 1. Нечеткие графы G'_1 с однотипными связями (а), G'_2 с разнотипными связями (б), G'_3 с множественными связями в виде вектора (в)

Таблица 1. Соответствие отношений акторов связям в графах G'_1–G'_3

Вид связи	Направ-ленность	Ребро графа	Отношение между акторами
Однотипные связи в графе G'_1	$gv_i – gv_j$	ge_1, ge_2	«Обмениваться информацией»
	$gv_i \to gv_j$	ge_3	«Влиять»
		ge_4	«Рефлексировать»
Разнотипные связи в графе G'_2	$gv_i – tp – gv_j$	ge_1, ge_5	tp_1 – «обмениваться информацией в сети Facebook»
		ge_2	tp_2 – «обмениваться информацией в сети Instagram»
	$gv_i – tp \to gv_j$	ge_3	tp_3 – «влиять»
		ge_4	tp_4 – «самообразовываться»
Связи в виде вектора в графе G'_3	$gv_i – \bar{v} – gv_j$	ge_1, ge_2	v_1 – «обсуждать тему, связанную с угрозой терроризма», v_2 – «обсуждать политические ситуации», v_3 – «обсуждать социальные вопросы»
	$gv_i – \bar{v} \to gv_j$	ge_3	v_4 – «уважать», v_5 – «относиться толерантно», v_6 – «дружить»

Спектр отношений значительно расширяется в моделях с разнотипными связями по сравнению с графами с однотипными связями. Однако в реальных моделях исследования социальных отношений количество разнотипных ребер может быть настолько велико, что это приводит к росту временных затрат на организацию вычислений. Анализ рассмотренных графов позволяет сделать вывод о целесообразности использования множественных связей в виде вектора в *GH*-графах, которые объединяют несколько разнотипных связей в одну, за счет чего уменьшается время вычисления в *GH*-графах.

Преимущества *GH*-графов, учитывающих множественные и разнотипные связи, оценены количественно в работах [17, 18], где представлены результаты экспериментальных исследований в разработанном программном комплексе [19, 20].

Представление социальных отношений в нечетких *GH*-гиперграфах с учетом множественных и разнотипных связей. Для представления отношений акторов, групп акторов целесообразно использование гиперграфов. Гиперграфы – это обобщения на графах, которые позволяют одним ребром соединить не только две вершины, как граф, а сколь угодно много вершин [21, 22].

Нечеткий *GH*-гиперграф $H' = (Gv, Ge, He, Hg, Hh)$ задан множествами: Gv и Ge (множества вершин и связей, как в графе G'); He (множество гиперребер ($he \in He$)); Hg (множество связей между вершиной и гиперребром ($hg \in Hg$)); Hh (множество связей между гиперребрами ($hh \in Hh$)).

Далее в статье названный выше гиперграф будем характеризовать с точки зрения особенностей связей как гиперграф с учетом множественных и разнотипных связей.;

Под элементами гиперграфа H' понимаются однотипные или разнотипные вершины gv_i, которые имеют вес η и однотипные гиперребра he_h с весами μ. Вершины соответствуют акторам, а гиперребра – группам акторов в модели исследования, например различным социальным сетям. Все остальные связи в гиперграфе H' могут быть однонаправленными и двунаправленными и имеют веса μ. Множество связей между вершинами в гиперграфе H' соответствует Ge и имеет такую же интерпретацию. Связи hg позволяют задать отношения между актором и группой акторов, а связи hh – отношения между группами акторов. Весам вершин и связей (η и μ) *GH*-гиперграфа придается смысл аналогично как в графе G'.

В [6, 23] подробно описаны модели неориентированного и ориентированных гиперграфов. Возможные отношения между акторами, группами акторов вида 1…3 возможно задать при помощи гиперграфов H'_1–H'_6 (рис. 2). На рис. 2 изображены: 1) неориентированный гиперграф H'_1; 2) ориентированные гиперграфы: H'_2 (с однотипными связями ge); H'_3 (с разнотипными связями ge/tp); H'_4 (со связями в виде вектора ge/v); H'_5 (со связями между вершинами и гиперребрами hg); H'_6 (со связями между гиперребрами hh).

Отношения акторов внутри групп представлены в табл. 1 (для гиперграфов H'_2–H'_4). В табл. 2 отражена возможная интерпретация отношений групп акторов для гиперграфов H'_1, H'_5 и H'_6.

Каждый путь в любом из гиперграфов (рис. 2) может отобразить некоторую фразу. Например, фраза «актор a_1 (вершина gv_1)» из сети Facebook (гиперребро he_1) благодаря общению (ребро hg_3) с акторами a_3–a_5 (вершины gv_3–gv_5) из сети Instagram (гиперребро he_2) владеет определенной информацией, что позволяет ему оказать влияние (ребро hg_1) на работу всей сети Instagram в целом» может быть представлена в виде пути в гиперграфе H'_5 S_2 (H'_5) = (he_2, hg_3, hg_1, he_2).

В предложенном подходе используются, в отличие от подходов, предложенных в работе [6], связи между вершиной и гиперребром (hg) (новизна подхода), что позволяет представить отношения акторов и групп акторов вида 2 и тем самым расширить спектр возможных социальных отношений, подлежащих исследованию.

Возникает проблема унификации представления *GH*-графов и *GH*-гиперграфов. В [5, 6, 23, 24] показано, что для решения этой проблемы возможно использование списковой структуры. Списки в классическом представлении [25, 26] невозможно применить к *GH*-моделям из-за их сложности. Решение этой проблемы требует дальнейших исследований, результаты которых будут представлены в следующих работах.

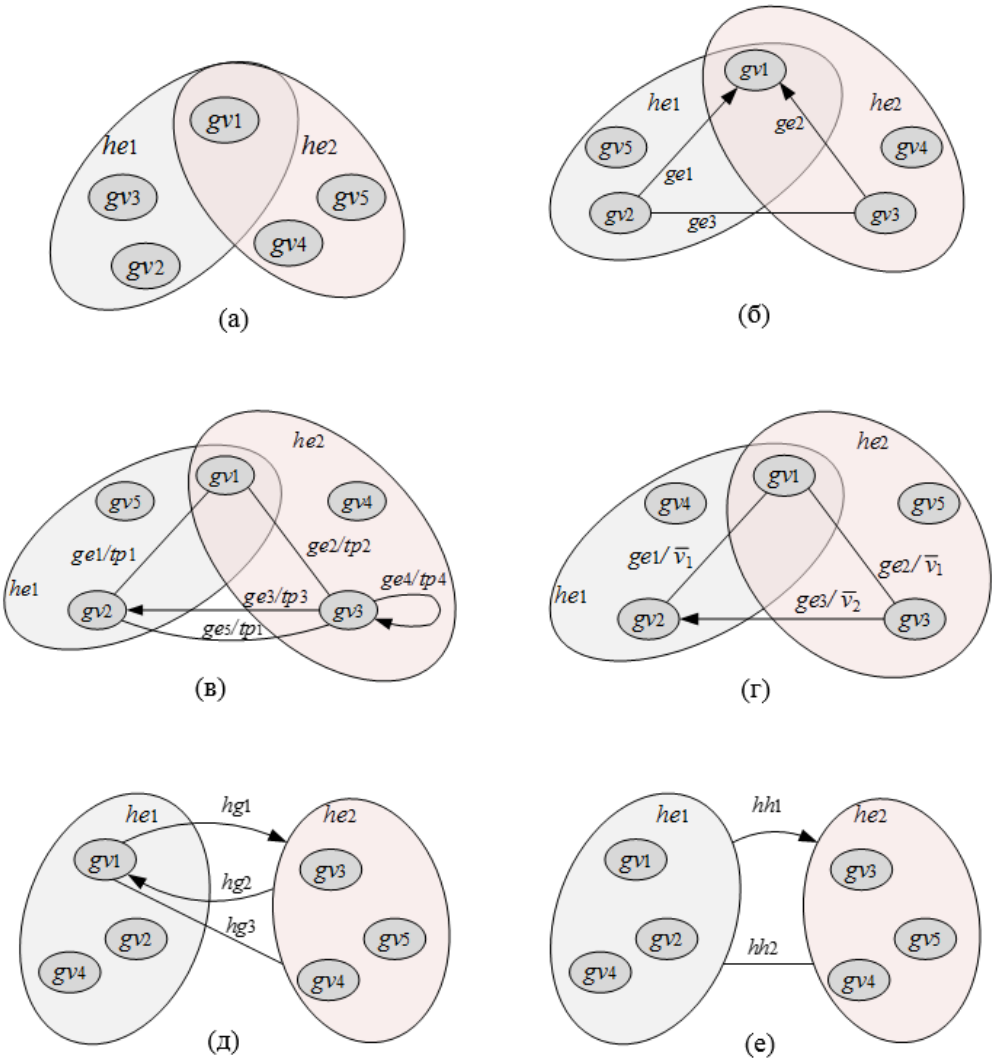


Рис. 2. Нечеткие гиперграфы H'_1 (а), H'_2 (б), H'_3 (в), H'_4 (г), H'_5 (д), H'_6 (е)

Таблица 2. Соответствие отношений акторов связям в гиперграфах H'_1, H'_5 и H'_6

Вид связи	Направлен-ность	Ребро гиперграфа	Отношения групп акторов
Связи между вершиной и гиперребром в гиперграфе H'_5	$gv_i \to he_j$	hg_1	«Влияние актора на группу акторов»
		hg_2	«Влияние группы акторов на актора»
	$gv_i - he_j$	hg_3	«Обмен информацией между актором и группой акторов»
Связи между гиперребрами в гиперграфе H'_5	$he_i - he_j$	hh_2	«Связь между группами акторов»
	$he_i \to he_j$	hh_1	«Влияние одной группы акторов на другую группу»
Гиперребра в гиперграфах H'_1- H'_6	–	he_1	Группа акторов, являющихся пользователями социальной сети Facebook
	–	he_2	Группа акторов, являющихся пользователями социальной сети Instagram

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В разработанном автором программном комплексе [19] были проведены эксперименты на графах, содержащих от 300 до 1000 вершин. Анализ результатов экспериментальных исследований показал снижение времени работы алгоритма поиска кратчайших путей не менее чем в 1,5 раза, по сравнению с моделями, учитывающими только однотипные и разнотипные связи, что подтверждает эффективность и предпочтительность использования *GH*-графов для исследования социальных отношений. Поскольку в наших исследованиях предложена интеграция множественных и разнотипных связей графов в *GH*-гиперграфы, то можно говорить об эффективности применения таких гиперграфов для моделирования социальных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные средства коммуникации между субъектами не только расширяют возможности общения, но и рождают новые явления и процессы, которые могут влиять как положительно на отдельные группы населения и общество в целом, так и отрицательно.

Были обозначены тенденции модификации графовых и гиперграфовых моделей для моделирования социальных процессов. Предложено применение нечетких *GH*-графов и *GH*-гиперграфов, которые позволяют учесть множественные и разнотипные связи.

Научная новизна исследований заключается в модификации графовых моделей за счет сочетания однотипных, разнотипных и множественных связей в виде вектора (*GH*-граф), а также в модификации гиперграфовых моделей, отличающихся использованием в своей структуре отдельных компонентов *GH*-графов, связей между вершиной и гиперребром, а также связей между гиперребрами (*GH*-гиперграф).

Были названы преимущества *GH*-моделей, которые позволяют представить систему социальных отношений субъектов, групп субъектов в соответствии с предложенной классификацией и вместе с тем уменьшить время анализа данных в системе за счет использования множественных связей в виде вектора между вершинами, объединяющих несколько разнотипных связей в одну. Была обозначена задача поиска единой формы представления *GH*-моделей с целью унификации способа обработки графов и гиперграфов для анализа данных в моделях с разнотипными информационными потоками. Решение этой задачи будет представлено в следующих работах автора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берштейн Л.С. Анализ социальных графов методом оценки степени изоморфизма нечетких графов на основе нечетких клик // *Современные проблемы науки и образования.* 2013. № 6. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11188 (дата обращения: 18.05.2020).

2. Целых А.А., Целых А.Н., Матвеев Д.А. Методы и средства визуализации массивов научно-технических показателей в виде графов // *Современные проблемы науки и образования.* 2013. № 3. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20909040& (дата обращения: 18.05.2020).

3. Носова М.В., Сенникова Л.И. Моделирование распространения информации в децентрализованных сетевых системах с нерегулярной структурой // *Новые информационные технологии в автоматизированных системах.* 2014. № 17. С. 329–335.

4. Liben-Nowell D., Kleinberg J. Tracing information flow on a global scale using Internet chain-letter data // *Proceedings of the national academy of sciences*. 2008. V. 105. № 12. P. 4633–4638.

5. Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р. Использование списков для представления социальных отношений // *Информатизация и связь*. 2018. № 4. С. 43–49.

6. Сергеев Н.Е., Мунтян Е.Р. Интерпретация социальных отношений в гиперграфовых моделях // *Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям*. Таганрог: изд-во Ступина С.А. 2018. Т. 2. С. 79–87.

7. Latour B. Reassembling the Social: An Introduction tj Actor-Network-Theory. Oxford: Oxford University Press. 2005. 281 p.

8. Латур Б. Пересборка социального. Введение в акторно-сетевую теорию. М.: ГУ-ВШЭ. 2014. 384 с.

9. Ло Дж. Объекты и пространства // *Социологическое обозрение*. 2006. Т. 5. № 1. С. 30–42.

10. Mol A. The Body Multiple: Ontology in Medical Practice, Durham, NC and London: Duke University Press. 2002. 196 p.

11. Boccalettia S., Bianconic G., Criadod R., del Geniof C.I., Gómez-Gardeñesi J., Romanced M., Sendiña-Nadalj I., Wangk Z., Zaninm M. The structure and dynamics of multilayer networks // *Preprint submitted to Physics Reports*. July 16. 2014. 157 p.

12. Contractor N.S., Monge P.R., Leonardi P.M. Multidimensional networks and the dynamics of sociomateriality: bringing technology inside the network // *International Journal of Communication*. 2011. № 5. P. 682–720.

13. Мунтян Е.Р. Особенности использования графов при моделировании сложных технических систем // *Системный синтез и прикладная синергетика*: *сб. науч. трудов IX Всероссийской научной конференции*. Таганрог: ЮФУ, 2019. С. 228–233.

14. Сергеев Н.Е., Целых Ю.А. GH-модели социальных сетей // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2009. № 1. С. 90–95.

15. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф., Силов В.Б., Тарасов В.Б. Нечеткие множества в моделях управления искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.

16. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. М.: Финансы и статистика, 2004. 320 с.

17. Мунтян Е.Р. Реализация нечеткой модели взаимодействия объектов сложных технических систем на основе графов // *Программные продукты и системы*. 2019. Т. 32. № 3. С. 411–418.

18. 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. V. 875. P. 209–217.

19. Государственная регистрация программы для ЭВМ № 2018665499. *Программный модуль для представления акторов и отношений между акторами на основе графов* / Мунтян Е.Р. Заявл. 26.11.2018. Опубл. 05.12.2018, Бюл. № 12.

20. Мунтян Е.Р. Разработка программного комплекса для моделирования взаимодействия акторов и их групп на основе графов // *Инновационные технологии и дидактика в обучении*: *сборник статей международной научно-практической конференции. Т. 1*. Таганрог: ЮФУ, 2018. С. 74–78.

21. Berge C. Hypergraphs: combinatorics of finite sets. North-Holland. 1989. 255 p.

22. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие графы и гиперграфы. М.: Научный мир, 2005. 256 с.

23. Kolodenkova A. E., Muntyan E. R. Researches of Interaction of Actors with Use Fuzzy Hypergraph and Cognitive Modeling // *XIV International scientific-technical conference on actual problems of electronics instrument engineering*. 2018. С. 127–131.

24. Muntyan E., Sergeev N., Tselykh A. Analysing Big Social Graphs Using a List-based Graph Folding Algorithm // *ITM Web of Conferences*. 2019. Т. 25. С. 01003.

25. Фостер Дж. Обработка списков. М.: Мир. 1974. 72 с.
26. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы. Построение и анализ. М.: Вильямс, 2013. 1328 с.

Для цитирования: Мунтян Е.Р. Аспекты использования нечетких *GH*-моделей для представления социальных отношений // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2020. № 3 (7). С. 113–121.

ASPECTS OF FUZZY GH-MODELS USING FOR SOCIAL RELATIONS REPRESENTING

E.R. MUNTYAN, Cand. Sc.

Southern Federal University, Nekrasovskii st., 44, 347928, Taganrog, Russian Federation, e-mail: ermuntyan@sfedu.ru

In the article the modified graph and hypergraph models are proposed for monitoring and modeling the relations of subjects and groups of subjects in accordance with the classification of types of social relations. Modification of graph models is the combination of homogeneous, heterogeneous and multiple connections in the form of a vector. Modified hypergraph models are distinguished by the use of separate components of *GH*-graphs in their structure, connections between a vertex and a hyperedge, as well as connections between two hyperedges. The advantages of the proposed *GH*-models lie in decrease of the execution time of data analysis in systems with different types of information flows by using multiple connections in the form of a vector between vertices, which allow you to combine several different types of connections into only one.

Keywords: actor, social network, social relations, subject, fuzzy *GH*-graph, fuzzy *GH*-hypergraph, fuzzy *GH*-model, different types of connections, multiple connections.

REFERENCES

1. Berstein L.S. Analysis of social graphs by evaluating the degree of isomorphism of non-clear graphs based on fuzzy clicks. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya.* 2013. No 6. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11188 (date accessed: 18.05.2020). (In Russian).
2. Tselykh A.A., Tselykh A.N., Matveev D.A. Methods and means of visualization of arrays of scientific and technical indicators in the form of graphs. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya.* 2013. No 3. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id= 20909040& (date accessed: 18.05.2020). (In Russian).
3. Nosova M.V., Sennikova L.I. Modeling of information distribution in decentralized network systems with irregular structure. *Novyye informatsionnyye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh.* 2014. No. 17, pp. 329–335. (In Russian).
4. Liben-Nowell D., Kleinberg J. Tracing information flow on a global scale using Internet chain-letter data. *Proceedings of the national academy of sciences*. 2008. V. 105. No. 12, pp. 4633–4638.
5. Sergeev N.E., Muntyan E.R. Usage of lists to represent social relations. *Informatizatsiya i svyaz.* 2018. No. 4, pp. 43–49. (In Russian).
6. Sergeev N.E., Muntyan E.R. Interpretation of social relations in hypergraphic models // *Proceedings of the Congress on intelligent systems and information technologies*. In 3 vol. Taganrog: Stupin S.A. publ. V. 2, pp. 79–87. (In Russian).

7. Latour B. Reassembling the Social: An Introduction tj Actor-Network-Theory. Oxford: Oxford University Press. 2005. 281 p.

8. Latour B. Peresborka sotsialnogo. Vvedenie v aktorno-setevuyu teoriyu [Social Reassembly. Introduction to the Actor-Network Theory]. Moscow: GU-VSHE, 2014. 384 p.

9. Lo J. Objects and spaces. *Sotsiologicheskoye obozreniye*. 2006. V. 5. No. 1, pp. 30–42. (In Russian).

10. Mol A. The Body Multiple: Ontology in Medical Practice, Durham, NC and London: Duke University Press. 2002. 196 p.

11. Boccalettia S., Bianconic G., Criadod R., del Geniof C.I., Gómez-Gardeñesi J., Romanced M., Sendiña-Nadalj I., Wangk Z., Zaninm M. The structure and dynamics of multilayer networks. *Preprint submitted to Physics Reports.* July 16. 2014. 157 p.

12. Contractor N.S., Monge P.R., Leonardi P.M. Multidimensional networks and the dynamics of sociomateriality: bringing technology inside the network. *International Journal of Communication*. 2011. No 5, pp. 682–720.

13. Muntyan E.R. Features of using graphs in modeling complex technical systems. *System synthesis and applied synergetics: collection of scientific papers of the IX All-Russian scientific conference*. Taganrog: YUFU, 2019. pp. 228–233. (In Russian).

14. Sergeev N.E., Tselykh Yu.A. The GH-models of social networks. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki.* 2009. No. 1, pp. 90–95. (In Russian).

15. Averkin A.N., Batyrshin I.3., Blishun A.F., Silov V.B., Tarasov V.B. Nechetkie mnozhestva v modelyah upravleniya iskusstvennogo intellekta [Fuzzy Sets in Management Models and artificial Intelligence]. D.A. Pospelov (Ed.). Moscow: Nauka, 1986. 312 p.

16. Yarushkina N.G. Osnovyi teorii nechetkih i gibridnyih sistem [Fundamentals of the theory of fuzzy and hybrid systems]. Moscow: Finansy i statistika. 2004. 320 p.

17. Muntyan E.R. Realization of fuzzy model of objects interaction inside a complex technical systems based on graphs. *Programmnyye produkty i sistemy*. 2019. V. 32. No. 3, pp. 197–206. (In Russian).

18. 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. V. 875, pp. 209–217.

19. Registration of a computer program No. 2018665499. A Software Module for Representing Actors and Relations Between Actors Based on Graphs. Muntyan E.R. Declared 26.11.2018. Published 05.12.2018, Bulletin No. 12. (In Russian).

20. Muntyan E.R. Development of software to simulate the interaction of actors and their groups based on graphs. Proc. Intern. Sci. and Pract. Conf. on Innovative Technologies and Didactics in Teaching. Taganrog: YUFU. 2018. V. 1, pp. 74–78. (In Russian).

21. Berge C. Hypergraphs: combinatorics of finite sets / North-Holland. 1989. 255 p.

22. Bershtein L.S., Bojanic A.V. Nechetkie grafyi i gipergrafyi [Fuzzy graphs and hypergraphs]. Moscow: Nauchnyy mir, 2005. 256 p.

23. Kolodenkova A. E., Muntyan E. R. Researches of Interaction of Actors with Use Fuzzy Hypergraph and Cognitive Modeling. *XIV International scientific-technical conference on actual problems of electronics instrument engineering*. 2018, pp. 127–131.

24. Muntyan E., Sergeev N., Tselykh A. Analysing Big Social Graphs Using a List-based Graph Folding Algorithm. *ITM Web of Conferences*. 2019. V. 25, pp. 01003.

25. Foster J. Obrabotka spiskov [Processing lists]. Moscow. Mir. 1974. 72 p.

26. Cormen T., Leiserson C., Rivest R., Stein K. Algoritmyi. Postroenie i analiz, [Algorithms: Construction and Analysis]. Moscow: Vilyams. 2013. 1328 p.

Поступила в редакцию/received: 23.05.2020; после рецензирования/revised: 10.07.2020; принята/accepted 03.08.2020