ОБЗОР, КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДИНАМИК МНЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ

Ю.А. Дорофеева, П.Д. Ермолаев

Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск

Аннотация: В теории игр существует множество различных динамик мнений для социальных сообществ. Процессы обмена мнениями, формирование и изменение как коллективного, так и индивидуального мнений напрямую зависят от вида социального сообщества, условий взаимодействия всех участников, возможности достижения консенсуса, вида взаимосвязи между каждым из членов коллектива и других факторов. Каждая из закономерностей имеет определенные характеристики, некоторые из которых являются обобщающими.

Важной задачей является численное моделирование с визуализацией процесса изменения мнений. Это позволит анализировать взаимодействие участников более эффективно. Также графическое представление позволяет рассматривать формирование новых мнений и сходимость более детально, оценивать поведение каждого участника и попытку «уклониться» от консенсуса.

Другой не менее важной задачей является классификация социальных динамик по следующим признакам: сходимость мнений (достижение консенсуса); наличие порога доверия (эта характеристика позволит разбивать все сообщество на подгруппы согласно уровню доверия участников друг к другу); виды взаимодействия между участниками (парное и групповое). Оба этих аспекта позволяют систематизировать наиболее «популярные» закономерности, а также наглядно и обстоятельно рассмотреть процесс изменения мнений участников и сходимость их мнений.

В работе рассматриваются различные динамики мнений внутри социальных сообществ. Выбор социальных динамик, представленных в данном исследовании, обусловлен двумя критериями. Первым является цитируемость научных работ с их описанием в поисковых системах и научных базах. Вторым - техническая возможность визуализации на языке программирования Python.

Ключевые слова: динамика мнений, моделирование, социальные сообщества, визуализация, классификация.

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются различные динамики мнений социальных сообществ, а также показаны результаты их численного моделирования. Обоснованием выбора данных социальных динамик является цитируемость, а также удобство визуализации.

На данном этапе развития теории игр существует достаточно большое количество различных закономерностей, определяющих процесс взаимодействия участников различных социальных сообществ. Помимо формализации важной и наглядной является визуализация формирования мнений, сходимости к консенсусу, либо расхождения мнений, то есть поляризации и другие варианты развития динамики. Визуализация особенно важна в исследованиях, когда невозможен или не проводится поиск аналитических решений уравнений динамики мнений.

В одном из недавних крупных обзоров [1] авторы классифицируют теоретико-игровые модели согласно количеству взаимодействующих участников. Исследователи разделяют модели по видам мнений, а именно дискретные и непрерывные, самих дефиниций авторы не приводят. В работе практически отсутствует визуализация, за исключением двух

динамик, также нет классификации по способу взаимодействия.

В работе [2] также приведена классификация моделей по количеству участников, однако не представлена информация о наличии консенсуса, условиях его достижения, отсутствует графическое представление процесса взаимодействия.

В исследованиях [3],[4] приведен обзор моделей репутаций и информационного влияния. Важным результатом является определение терминов: репутация, игрок, агент, спутник и т.д.

Обобщающими характеристиками во всех вышеперечисленных обзорах являются наличие консенсуса, существование лидера, процесс формирования новых мнений в зависимости от того, как именно взаимодействуют участники.

В предложенной работе представлена систематизация не только по наличию консенсуса, но и по виду взаимодействия между участниками. Приведены результаты численного моделирования в графической форме, позволяющие анализировать сходимость мнений, отклонение отдельных агентов от общего мнения и эволюцию динамики в целом. Кроме того, приводится описание и характеристики наиболее популярных динамик, а также вводятся определения дискретного и непрерывного мнений, которые являются одной из основных оценок при группировке.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В качестве модели с дискретным мнением рассматривается правило большинства. Однако для более глубокого понимания необходимо определить само понятие.

Под **дискретным мнением** понимается результат процесса взаимодействия агентов, представляющий собой однозначную счетную величину из конечного или счетного числа альтернатив (например, 0 или 1).

Одними из ключевых понятий являются виды взаимодействия - парное и групповое. Парное - участник формирует мнение только под влиянием случайно выбранного соседа, групповое - мнение участника формируется в процессе взаимодействия со всем сообществом.

В **динамике большинства** мнение случайной группы участников изменяется на мнение большинства среди данной группы. Описание динамики мнения группы на шаге $k+1$ представлено формулой [1]:

$$x_{k+1}^I = \begin{cases} 1, C_1^I > C_0^I \\ 0, C_1^I < C_0^I \end{cases},$$

где I - случайно выбранное множество игроков, x_k^I - мнение данного множества на k -м шаге, а C_0^I и C_1^I - количество нулевых и единичных мнений в выбранном множестве соответственно.

Динамика сходится относительно быстро. Однако в процессе визуализации удалось выявить особенность, которая заключается в следующем. В результате генерации случайной выборки мнений агентов на начальном этапе сходимость мнений к консенсусу не гарантируется. Ниже представлен пример ($n=100$) визуализации «удачной» генерации, в результате взаимодействия на третьей итерации фактически достигается консенсус (рис. 1).

Динамика на разных шагах – 0- начальное состояние, 3 - консенсус

Рис. 1. Визуализация модели правила большинства для $n=100$

Далее будут рассмотрены модели с непрерывным мнением агентов.

Практическим применением являются, например, предвыборные агитационные кампании.

Под **непрерывным мнением** понимается результат процесса взаимодействия агентов, представляющий собой однозначную величину из наперед заданного отрезка (концы отрезка задаются в зависимости от динамики).

В динамике **Аксельрода** меняются сразу два параметра – мнение агентов и мнения участников относительно друг друга [1]. Чем лучше агент i относится к агенту j , тем на большую величину изменится мнение x^i - i -го агента на следующем шаге. Эти взаимодействия описываются формулами:

$$x_{k+1}^i = x_k^i - \frac{1}{2}(x_k^i - x_k^j) * g1(a_k^{ij}),$$

$$a_k^{ij} = a_k^{ij} + a_k^{ij}(1 - a_k^{ij}) * g2(x_k^i - x_k^j)$$

где $g1$, $g2$ – вспомогательные функции:

$$g1(x) = \frac{1}{2} \arctan(b1 * (x - c) + 1),$$

$$g2(x) = -\arctan(b2 * (|x| - d))$$

Здесь $b1$, $b2$, c , d – параметры, от которых зависит скорость сходимости динамики: $b1$ – то, насколько сильно влияют их отношения на мнения; $b2$ – то, насколько сильно влияют их мнения на отношения; c – порог близости отношений, обеспечивающий взаимодействие; d – порог близости мнений, обеспечивающий влияние на взаимодействие.

Такая динамика всегда сходится [1], однако скорость сходимости зависит от параметров. Ниже представлены графики сходимости мнений участников для двух различных значений параметра c , уменьшение значения которого несколько (рис. 2).

Рис. 2. Визуализация динамики Аксельрода для $n=100$

Динамика **Де Гроота** является одной из первых, представленных в литературе, и основана на марковском процессе [5]. На мнения каждого из участников коллектива влияют остальные участники. В результате последовательного итерирования происходит сближение мнений всех членов коллектива. Мнение участника о некотором событии в следующий момент времени представляет собой

линейную комбинацию всех мнений участников социальной сети в настоящий момент.

Поэтапное изменение состояния системы описывается формулой: $x_{k+1} = Px_k$, где x_k – вектор мнений игроков, P – стохастическая матрица переходов.

Важно отметить, что Де Гроот был основоположником моделирования динамики мнений. Именно он определил понятие «консенсуса» [5]. Более подробно об этом в работах [2,5,8]. В данной закономерности нет лидера, все участники коллектива равноправны.

В процессе визуализации стало возможным определить некоторые характерные особенности динамики Де Гроота:

- относительно быстрая сходимость;
- наличие консенсуса для любого набора начальных данных.

Ниже представлен результат численного моделирования (рис. 3). На графике видно, что все участники сходятся к единому мнению на третьей итерации.

Рис. 3. Визуализация динамики Де Гроота для $n=100$

Применение данной динамики нашло свое отражение в работах [6],[7]. На основе динамики Де Гроота построены модели для определения рейтингов участников в различных по составу коллективах.

В модели Хегсельманна-Крауза с непрерывным мнением всех участников появляется параметр – порог доверия [8]. Агенты будут взаимодействовать только с теми, чьи мнения отличаются от собственного не более чем на фиксированное значение $d > 0$. Тогда мнение каждого участника на любом этапе формирования нового мнения заменяется средним среди группы, которой он «доверяет». Динамика мнения j -го агента будет выглядеть следующим образом [8],[9],[10]:

$$x_{k+1}^j = \frac{\sum_{I} x_k}{|I|},$$

где I – множество агентов $i: |x_k^j - x_k^i| < d$

Параметр доверия влияет на формирование фрагментации – разделения всех участников на подгруппы в зависимости от порога доверия d . При относительно больших значениях параметра d количество групп будет небольшим, а при относительно маленьком пороге d оно будет гораздо больше. На рисунке 4 представлен процесс фрагментации для $d=0.5$ и полная сходимость для $d=0.9$.

Рис. 4. Визуализация динамики Хегсельманна-Крауза для $n=100$

Модель Дюффанта-Вейсбаха отличается от модели Хегсельманна-Крауза тем, что принцип взаимодействия не групповой, а парный. Также присутствует новый параметр μ – восприимчивость агентом чужих мнений, изменяющаяся от 0 до 0.5. Формула данной динамики выглядит следующим образом [11],[12]:

$$x_{k+1}^j = x_k^j + \mu(x_k^i - x_k^j), \text{ если } |x_k^j - x_k^i| < d.$$

В случае, если условие в правой части не выполняется, мнение агента не изменяется.

Выбор параметров μ и d влияет не только на наличие консенсуса, но и на скорость его достижения (рис. 4). Снижение восприимчивости (параметра μ) несколько усложняет процесс сходимости. Это показано на рис. 5. В результате парного взаимодействия агентов мнения могут сильно расходиться, в результате чего консенсус может не наступить (рис. 6). Это происходит для значений параметра d близких к нулевому значению.

Рис. 5. Визуализация динамики Дюффанта-Вейсбаха для $n=100$

Рис. 6. Отсутствие сходимости в динамике Дюффанта-Вейсбаха при $d=0.01$ для $n=100$

Модель Фридкина-Джонсона является модифицированной версией динамики Де Гроота. В ней присутствует параметр «восприимчивости», который отвечает за возможность каждого из участников воспринимать мнения других, но при этом учитывать свое начальное мнение. Сама динамика имеет вид [13]:

$$x_{k+1} = AWx_k + (E - A)x_0,$$

$$W = AC + E - A$$

где W – матрица перехода из предыдущего состояния в последующее; C – стохастическая матрица отношений; A – диагональная матрица восприимчивости.

Мнение участников имеет непрерывный характер, при этом взаимодействие групповое.

В процессе численного моделирования были подтверждены следующие характеристики, теоретически описанные авторами:

- динамика Фридкина-Джонсона сходится к консенсусу, если $A=E$;
- в ином случае она сходится к стационарному состоянию.

Ниже представлен результат численного моделирования для $n=100$ (рис. 7). На первом рисунке

случай $A=E$, и система достигает консенсуса уже на третьей итерации. На втором стационарное состояние системы, а также фрагментация среди участников.

Впервые эта закономерность была представлена авторами для исследования влияния средств массовой информации на мнения людей. Также данная динамика использовалась в эксперименте по установлению восприимчивости участников опроса [13].

Рис. 7. Визуализация динамики Фридкина-Джонсона для $n=100$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен обзор и визуализация изменения мнений для шести наиболее популярных динамик. Показаны случаи сходимости, влияния параметров каждой модели на процесс достижения консенсуса, либо стационарного состояния, а также случаи отклонения от консенсуса и отсутствия сходимости. В качестве обобщения всех рассмотренных закономерностей по основным критериям ниже представлена классификация в таблице 1. Численное моделирование и визуализация динамик изменения мнений выполнены на языке программирования Python. Программный код опубликован в Интернет-репозитории [14].

Табл. 1 Классификация различных динамик

Название	Сходимость	Порог доверия	Виды взаимодействия	Вид мнения
Модель большинства	Сходится к консенсусу	-	Групповое	Дискретное
Модель Де Гроота	Сходится к консенсусу	-	Групповое	Непрерывное
Модель Хегсельманна-Крауза	Стационарное состояние, сходится к консенсусу	+	Групповое	Непрерывное
Модель Фридкина-Джонсона	Стационарное состояние, сходится к консенсусу	-	Групповое	Непрерывное
Модель Дюффанта-Вейсбаха	Стационарное состояние, сходится к консенсусу	+	Парное	Непрерывное
Модель Аксельрода	Сходится к консенсусу	+	Парное	Непрерывное

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sirbu A., Lorento V., Servedio V., Francessa T. Opinion dynamics: models, extensions and external effects // *Physics and Society*. – 2016. – Vol.5. – pp. 363- 401
2. Дорофеева, Ю. А. Обзор динамик мнений различных социальных сообществ // *Инженерный вестник Дона*.- 2020.- № 5-67 с.
3. Губанов Д.А., Новков Д.А., Чхатишвили А.Г. Модели информационного влияния и информационного управления в социальных сетях // *Проблемы управления* . – 2009. – №. 5. – С. 28-35.
4. Ермаков Н.С., Иващенко А.А., Новиков Д.А. Модели репутаций и норм деятельности. □ М.: ИПУ РАН, 2005. - 67 стр.
5. DeGroot M.H. Reaching a Consensus // *Journal of the American Statistical Association*. – 1974. – Vol. 69.– pp.118-121.
6. Bure V., Parilina E., Sedakov A. Consensus in a social network with two principals // *Autom. Remote.Control*. – 2017. – № 78. – pp.1489-1499.
7. Мазалов В.В., Дорофеева Ю.А., Коновальчикова Е.Н. Моделирование влияния среди участников образовательного коллектива // *Вестник СПбГУ, серия Прикладная математика и информатика*. - 2019. - т.15 №. 2 - С. 259-273.
8. Hegselmann R., Krause U. Opinion Dynamics and bonded confidence models, analysis and simulation // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. - 2002. - Vol. 5(3). - pp. 1-33.
9. Blondel V., Hendricx J., Tsitsiklis J. On Krause's multi-agent consensus model with state-dependent connectivity. // *Transaction Automation and Control*. - 2009. - №54 (11). - pp. 2586-2597.
10. Fortunato S. On the consensus threshold for the opinion dynamics of Hegselmann-Krause // *International Journal of Modern Physics C*. - 2005. - Vol. 15.- pp. 259-270.
11. Deffuant G.,Neau D.,Amblard F.,Weisbuch G. Mixing Beliefs Among Interacting Agents // *Advances in Complex Systems*, 2010.- Volume 3, pp. 87-98.
12. Weisbuch G., Deffuant G. and Amblard F. Persuasion dynamics // *Physica A*. - 2005. - № 353. - pp. 555-575.
13. Friedkin N., Johnsen E. Social influence and opinions // *Journal of Mathematical Sociology*. – 1990. – Vol.15. – pp.193-206.
14. https://drive.google.com/drive/folders/1VA0xF81_mjUIL1RDbS4fbNrQzU-OdcрА

Дорофеева Юлия Александровна – старший преподаватель кафедры Прикладной математики и кибернетики, Петрозаводский государственный университет ФГБОУ ВПО ПетрГУ, тел. 89114197708, e-mail: julana2008@yandex.ru.

Ермолаев Павел Дмитриевич –, студент 4 курса кафедры Прикладной математики и кибернетики, Петрозаводский государственный университет ФГБОУ ВПО ПетрГУ, тел. (921)5150550, e-mail: pd.ermolaev@gmail.com

REVIEW, CLASSIFICATION AND VISUALISATION OF OPINION DYNAMICS IN SOCIAL COMMUNITIES

Y.A. Dorofeeva

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk

Abstract –There is a bunch of different opinion dynamics for social communities in game theory. The processes of opinions exchange, the formation and change of both collective and individual opinions directly depend on the social community type, the participants interaction conditions, the consensus possibility, the relationship type between each of the team members and other factors. Every regularity has certain characteristics, some of them are generalizing.

An important task is numerical modeling with visualization of the changing opinions process. This will allow to analyze the interaction of participants more effectively. Also, the graphical presentation allows us to consider the formation of new opinions and convergence in more detail, to evaluate the behavior of each participant and an attempt to “avoid” the consensus.

Another important task is the classification of social dynamics according to the following criteria: convergence of opinions (the achievability of consensus); the trust threshold presence (this characteristic will allow the entire community to be divided into subgroups according to the trust level of the participants to each other); types of interaction between participants (paired, group). Both of these aspects make it possible to systematize the most "popular" patterns, as well as to visually and thoroughly examine the changing participants' opinions process and the convergence of their opinions.

There are different opinion dynamics within social communities examined in this paper. Dynamics presented in this study were selected due to two criteria. The first one is the citation of scientific works with their description in search engines and scientific databases. The second criterion is the technical possibility of visualization in the Python programming language.

Index terms: opinion dynamics, modeling, review, social communities, visualization, classification.

REFERENCES

1. Sirbu A., Lorento V., Servedio V., Francessa T. Opinion dynamics: models, extensions and external effects . Physics and Society. 2016. Vol.5. pp. 363-401.
2. Dorofeeva Yu.A Obzor dinamiki mnenii razlichnykh socialnykh soobshchestv. Inzhenernyi Vestnik Dona 2020 №5. pp.67-78
3. Ermakov N.S., Ivashchenko A.A., Novikov D.A. Modeli reputatsii i norm deyatelnosti . M.: IPU RAN, 2005. 67 p.
4. Gubanov D.A., Novikov D.A., Chxartishvili A.G. Modeli informatsionnogo vliyaniya i informatsionnogo upravleniya v social'nykh setyax. Problemy upravleniya . 2009. №. 5. pp. 28-35.
5. DeGroot M.H. Reaching a Consensus . Journal of the American Statistical Association. 1974. Vol. 69.pp.118-121.
6. Bure V., Parilina E., Sedakov A. Consensus in a social network with two principals. Autom. Remote.Control. 2017. № 78. pp.1489-1499.
7. Mazalov V.V., Dorofeeva Yu.A., Konoval'chikova E.N. Modelirovanie vliyaniya sredi uchastnikov obrazovatel'nogo kollektiva . Vestnik SPbGU, seriya Prikladnaya matematika i informatika. 2019. T.15 №. 2 . pp. 259-273.
8. Hegselmann R., Krause U. Opinion Dynamics and bonded confidence models, analysis and simulation. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2002. Vol. 5(3). pp. 1-33.
9. Blondel V., Hendricx J., Tsitsiklis J. On Krause's multi-agent consensus model with state-dependent connectivity. Transaction Automation and Control. 2009. №54 (11). pp. 2586-2597.
10. Fortunato S. On the consensus threshold for the opinion dynamics of Hegselmann-Krause . International Journal of Modern Physics C. 2005. Vol. 15. pp. 259-270.
11. Deffuant G.,Neau D.,Amblard F.,Weisbuch G. Mixing Beliefs Among Interacting Agents . Advances in Complex Systems,2010.Vol. 3. pp. 87-98.
12. Weisbuch G., Deffuant G. and Amblard F. Persuasion dynamics .Physica A. 2005. № 353. pp. 555-575.
13. Friedkin N., Johnsen E. Social influence and opinions. Journal of Mathematical Sociology. 1990. Vol.15. pp.193-206.
14. https://drive.google.com/drive/folders/1VA0xF81_mjUIL1RD6S4fbNrQzU-OdcP4

Dorofeeva Yulia Alexandrovna - senior lecturer of the Department of Applied Mathematics and Cybernetics, Petrozavodsk State University, PetrSU, tel. 89114197708, e-mail: julana2008@yandex.ru.

Pavel Dmitrievich Ermolaev -, 4th year student of the Department of Applied Mathematics and Cybernetics, Petrozavodsk State University, PetrSU, tel. 89215150550, e-mail: pd.ermolaev@gmail.com