

О МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИКИ И ОЦЕНКЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ МНЕНИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Губанов Д. А., Петров И. В., Чхартишвили А. Г.

(Институт проблем управления РАН, Москва)

dmitry.a.g@gmail.com, zyxzy@protonmail.ch, sandro_ch@mail.ru

Рассмотрена модель динамики мнений в социальных сетях, которая позволяет моделировать и оценивать наиболее значимые социально-психологические феномены динамики мнений (консенсус мнений, сохранение различий во мнениях и поляризацию мнений). Предложены подходы к измерению поляризации мнений и представлены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: социальная сеть, формирование мнений, распространение активности, поляризация мнений, индекс поляризации мнений.

1. Введение

Информационное взаимодействие между участниками социальных сетей в ряде случаев приводит к постепенному уменьшению различий в их мнениях, к достижению консенсуса. Этот феномен из области социальной психологии известен давно и на настоящий момент существует большое количество математических моделей динамики мнений (см. напр. [1, 2, 4]), которые его моделируют. Однако помимо консенсуса также известны приобретающие все большую значимость такие социально-психологические эффекты как, например, кластеризация мнений и поляризация мнений [12]. Актуальной задачей является разработка новых математических моделей, учитывающих эти феномены [3, 5-7].

В данном докладе рассматривается феномен поляризации мнений. Поляризация мнений понимается как усиление

разногласий в социальной сети, как расхождение мнений по разным полюсам участников обсуждения некоторого вопроса в социальной сети.

В разделе 1 кратко рассмотрена введенная ранее модель динамики мнений в социальной сети [14], которая при определенных условиях приводит к сохранению различий в мнениях агентов и поляризации мнений агентов. В разделе 2 предложены подходы к измерению поляризации мнений, а также приведены результаты численного моделирования.

2. Модель динамики мнений

Под социальной сетью понимается структура, состоящая из множества агентов (субъектов – индивидуальных или коллективных, например, индивидов, семей, групп) и определенного на нем множества связей (например, знакомства, дружбы, коммуникаций). Формально социальная сеть представляет собой граф $G = (N, E)$, в котором $N = \{1, 2, \dots, n\}$ – множество вершин (агентов), а E – множество ребер (отношений).

Рассмотрим в такой социальной сети динамику двух информационных процессов. Первый процесс – процесс распространения активности агентов и совершения ими действий (например, в виде публикации сообщений), а второй процесс (связанный с первым) – процесс формирования мнений агентов и выражения мнений в действиях.

2.1. ПРОЦЕСС РАСПРОСТРАНЕНИЯ АКТИВНОСТИ АГЕНТОВ СЕТИ

Будем считать, что каждый из агентов обладает некоторым присущим ему уровнем готовности к действию. Например, i -ый агент обладает уровнем готовности к действию $p_i^{(0)} \in [0, 1]$, в соответствии с которым совершает действие $y_i^{(0)} \in \{0, 1\}$, при этом вероятность совершения действия $P(y_i^{(0)} = 1) = p_i^{(0)}$. Однако в последующие моменты времени $t = 1, 2, \dots$ уровень готовности

агента к действию зависит также от действий, совершенных его окружением в сети:

$$(1) \quad p_i^{(t)} = \alpha p_i^{(0)} + (1 - \alpha) \sum_{j \in N} a_{ij} y_j^{(t-1)},$$

где коэффициент $\alpha \leq 1$ может интерпретироваться как индивидуальная особенность – некоторые склонны писать чаще, некоторые реже, вне зависимости от поведения окружения, A – стохастическая матрица влияния. Соответственно, агент выполнит действие с вероятностью

$$(2) \quad P(y_i^{(t)} = 1) = p_i^{(t)}.$$

2.2. ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ МНЕНИЙ АГЕНТОВ СЕТИ

Агенты в сети имеют определенные мнения. Будем считать, что возможны m классов “крайних” позиций, и мнение i -ого агента в каждый t -ый момент времени представляет собой m -компонентный стохастический вектор $x_i^{(t)}$ ($\sum_{l=1}^m x_{il}^{(t)} = 1$). Агент выражает свое мнение в действиях (сообщениях), причем высказанное им в сообщении мнение $s_i^{(t)}$ является одним из m «крайних» вариантов. Высказывание мнения происходит с вероятностями, совпадающими с компонентами вектора $x_i^{(t)}$:

$$(3) \quad P(s_i^{(t)} = I_{*l} | y_i^{(t)} = 1) = x_{il}^{(t)}.$$

Динамика мнений i -ого агента задается следующим образом:

$$(4) \quad x_i^{(t)} = \beta x_i^{(0)} + (1 - \beta) \left(b_{ii}^{(t-1)} x_i^{(t-1)} + \sum_{j \in N_i} b_{ij}^{(t-1)} s_j^{(t-1)} \right),$$

где коэффициент $\beta \leq 1$ отражает приверженность своему начальному мнению, $B^{(t)}$ – матрица доверия агента сообщениям соседей, N_i – множество соседей i -ого узла в сети, оказывающих на него ненулевое влияние согласно матрице A . Иными словами, мнение агента в каждый момент времени зависит как от его начального мнения, так и мнений его окружения в предыдущий момент времени.

Матрица доверия является переменной и отражает зависимость степени доверия агента сообщениям других агентов от их содержания:

$$(5) \quad b_{ij}^{(t)} = \begin{cases} \phi(d_{ij}^{(t)}), & j \in N_i \wedge y_j^{(t)} = 1 \\ 1, & j = i \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

где $d_{ij}^{(t)} = 1 - \sum_{l=1}^m \min(x_{il}^{(t)}, s_{jl}^{(t)})$ – мера несходства мнений агентов i и j , а ϕ – некоторая функция на полуинтервале $[0, +\infty)$.

3. Многомерные индексы поляризации сети

Для измерения уровня поляризации используются меры неравенства и разрабатываются меры поляризации сети (см. напр., [6, 8]). В данном разделе рассмотрим два различных подхода к построению индекса поляризации. Первый подход к построению индекса поляризации был предложен в работе [13] – с точностью до константы он представляет собой среднее расстояние мнений агентов до их среднего значения. Второй подход основан на следующей идее: не ограничивая общности, будем считать, что мнения упорядочены по неубыванию (т. е. $x_1 \leq \dots \leq x_n$), и рассмотрим всевозможные разбиения индивидов на два множества $N_0(k) = \{1, \dots, k\}$ и $N_1(k) = \{k+1, \dots, n\}$. Индексом поляризации будем считать, с точностью до нормирующего множителя, максимальную (по всевозможным k) сумму разностей мнений индивидов, принадлежащих разным частям разбиения.

Рассмотрим многомерный случай индекса поляризации сети, когда мнение x_i каждого агента представляет собой не число на отрезке $[0,1]$, а стохастический вектор из m компонент: $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{im})$. Естественным обобщением индекса из [13] является среднее расстояние до точки, представляющей собой покомпонентное среднее значение мнений агентов:

$$(6) \quad \Pi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(x_i, \mu) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \sum_{q=1}^m |x_{iq} - \mu_q|,$$

где $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_m)$, $\mu_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{iq}$, $q \in M = \{1, \dots, m\}$.

Многомерный индекс поляризации, определяемый выражением (6), будем называть симметричным индексом поляризации.

Теперь рассмотрим второй подход. Он основан на делении множества агентов на два множества – тяготеющих к полюсу 0 и тяготеющих к полюсу 1. В многомерном случае эти два полюса можно выделять различными способами, каждый из которых соответствует разбиению множества $M = \{1, \dots, m\}$ на два непустых подмножества. Зафиксировав разбиение $M = M_0 \cup M_1$, $M_0 \cap M_1 = \emptyset$, поставим i -му агенту с вектором мнений $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{im})$ его *агрегированное мнение*, характеризующее расположение агента между двумя полюсами M_0 и M_1 – число $y_i = \sum_{j \in M_1} x_{ij}$. Заметим, что при этом $1 - y_i = \sum_{j \in M_0} x_{ij}$, т. е. ситуация

свелась к одномерному случаю с двумя полюсами мнений. Индексом поляризации является следующее выражение, зависящее от разбиения $M = M_0 \cup M_1$:

$$(7) \quad \pi(M_0, M_1) = \left(\frac{4}{n^2}\right) \max_{k \in N\{n\}} \sum_{i \in N_1(k)} \sum_{j \in N_0(k)} (y_i - y_j),$$

где, не ограничивая общности, будем считать, что агрегированные мнения упорядочены по неубыванию (т. е. $y_1 \leq \dots \leq y_n$), а максимум ищется, как и в (2), по всевозможным разбиениям агентов на два множества $N_0(k) = \{1, \dots, k\}$ и $N_1(k) = \{k + 1, \dots, n\}$.

Многомерный индекс поляризации, определяемый выражением (7), будем называть *асимметричным* индексом поляризации. В качестве иллюстрации рассмотрим одномерный случай (рис. 1). Легко видеть, что минимальное значение, равное нулю, индекс (7) принимает в случае, когда все мнения совпадают (см. графики с маркерами в виде квадратов). Нетрудно также показать, что максимальное значение индекса (7) равно 1 и достигается в случае, когда ровно половина мнений равна 0, а вторая половина равна 1 (см. графики с маркерами в виде треугольников). Промежуточное значение индекса можно получить, например, в

случае равномерного распределения мнений в отрезке от 0 до 1 (см. графики с маркерами в виде кружков).

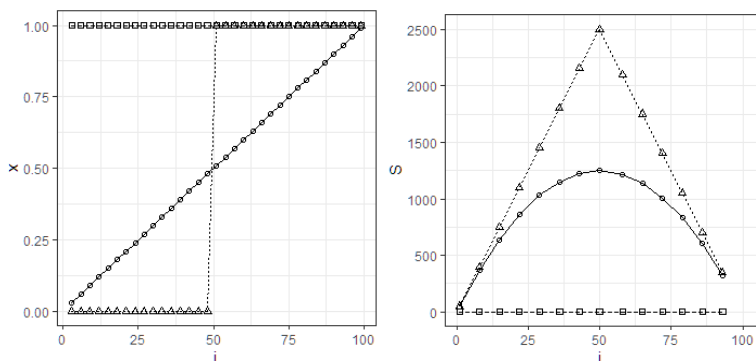


Рис. 1. Значения векторов x_i (слева) и значение суммы, максимизируемой в выражении (7) (справа)

Другой пример изображен на рис. 2.

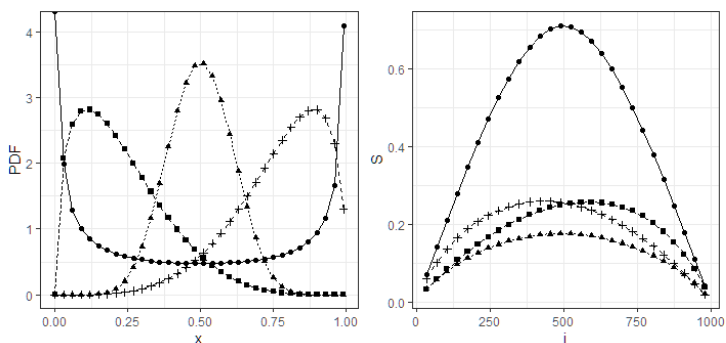


Рис. 2. Распределение векторов x_i (слева) и значение суммы, максимизируемой в выражении (7) (справа)

Пусть распределение мнений задается плотностью вероятности имеющий вид бета-распределения: на рис. 2 слева изображены четыре случая (их графики имеют маркеры в виде крестика,

треугольника, квадрата и кружка соответственно), а справа – значение величины поляризации в зависимости от индекса k .

В данном примере минимальное значение индекса поляризации получается в случае симметричного однопикового распределения, максимальное – в случае равной концентрации агентов в максимально удаленных точках.

Воспользовавшись результатами работы [14], продемонстрируем некоторые качественные особенности предложенных индексов поляризации. В [14] показано, что если функция доверия ϕ имеет вид $\max\{0, 1 - \frac{d}{\gamma}\}$, а ее параметр γ принимает различные значения для каждого из m типов сообщений (т. е. γ , также как и x , является m -мерным вектором), то, варьируя соотношение между компонентами γ , можно получить любое заранее заданное распределение типов агентов в некоторый момент T . На рис. 3 и 4 показаны два случая итогового распределения векторов мнений агентов для различных γ .

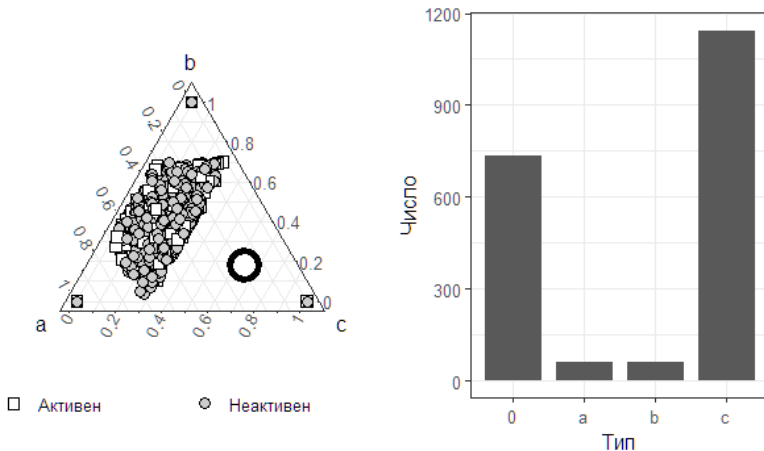


Рис. 3. Распределение мнений агентов при $m = 3$ и $\gamma_1 = (0.3, 0.3, 0.7)$; значение индексов: 0.42 и (0.42, 0.45, 0.82)

В случае $\gamma_1 = (0.3, 0.3, 0.7)$ (см. рис. 3) симметричный индекс поляризации равен 0.42, в то время как асимметричный

принимает значение 0.42, 0.45 и 0.82 в зависимости от разбиения множества компонент мнений на два непустых подмножества.

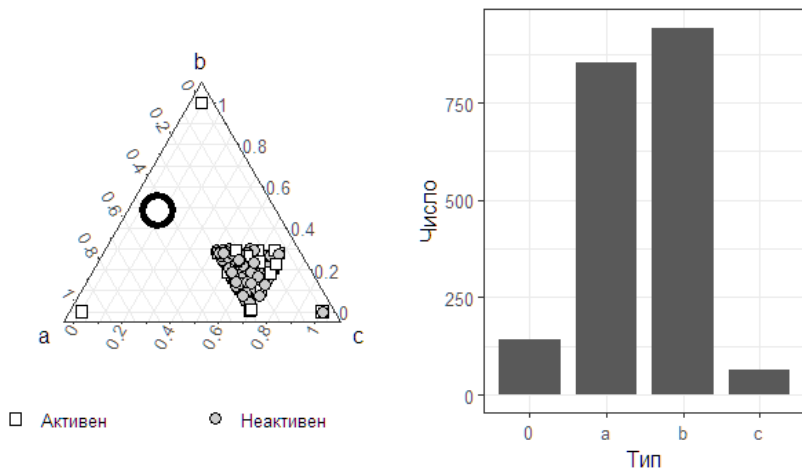


Рис. 4. Распределение мнений агентов при $t = 3$ и $\gamma_1 = (0.7, 0.7, 0.3)$; значение индексов: 0.54 и (0.91, 0.97, 0.29)

В случае $\gamma_1 = (0.7, 0.7, 0.3)$ (см. рис. 4) симметричный индекс поляризации равен 0.54, в то время как асимметричный принимает значение 0.91, 0.97 и 0.29 в зависимости от разбиения множества компонент мнений на два непустых подмножества.

Видно, что для этих двух существенно различных случаев итоговых распределений мнений (рис. 3 и рис. 4) симметричный индекс поляризации принимает примерно одинаковые значения, в то время как предложенный в данной работе асимметричный индекс отражает различие ситуаций и позволяет находить направления поляризации.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект 18-29-22042мк).

Литература

1. Chkhartishvili A. G., Gubanov D. A., Novikov D. A. *Social Networks: Models of information influence, control and confrontation*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019.
2. De Groot M. H., *Reaching a Consensus* / Journal of American Statistical Association, № 69, pp. 118-121, 1974.
3. Deffuant G., Neau D., Amblard F., Weisbuch G. *Mixing beliefs among interacting agents* / Advances in Complex Systems. 2000. Vol. 03. P. 87–98.
4. Kozitsin I. V., Belolipetskii A. A. *Opinion convergence in the Krasnoshchekov model* / The Journal of Mathematical Sociology, vol. 43, no. 2, pp. 104-121, 2019.
5. Parsegov S. E., Proskurnikov A. V., Tempo R., Friedkin N. E. *Novel multidimensional models of opinion dynamics in social networks* / IEEE Trans. Autom. Control, vol. 62, no. 5, pp. 2270–2285, 2017.
6. Friedkin N. E., Proskurnikov A. V., Tempo R., Parsegov S. E. *Network science on belief system dynamics under logic constraints* / Science, vol. 354, no. 6310, pp. 321–326, 2016.
7. Altafini C. *Consensus problems on networks with antagonistic interactions* / IEEE Trans. Autom. Control, vol. 58, no. 4, pp. 935–946, 2013.
8. Esteban J.-M., Ray D. *On the measurement of polarization* / Econom. J. Econom. Soc., pp. 819–851, 1994.
9. Petrov A., Proncheva O. *Modeling Propaganda Battle: Decision-Making, Homophily, and Echo Chambers* / presented at the Conference on Artificial Intelligence and Natural Language, 2018, pp. 197–209.
10. Chkhartishvili A. G., Gubanov D. A. *A conceptual approach to online social networks analysis* / Automation and Remote Control, vol. 76, no. 8, pp. 1455–1462, 2015.
11. Chkhartishvili A. G., Gubanov D. A. *Influence Levels of Users and Meta-Users of a Social Network* / Automation and Remote Control, vol. 79, no. 3, pp. 545–553, 2018.
12. Myers D. G. *Social Psychology*. McGraw-Hill, 1999.

13. Алескеров Ф. Т., Голубенко М. А. Об оценке симметричности политических взглядов и поляризованности общества. Препринт WP7/2003/04 – М.: ГУ ВШЭ, 2003. – 24 с.
14. Губанов Д. А., Петров И. В. О модели поляризации мнений в социальных сетях / Материалы 12-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2019, Москва). М.: ИПУ РАН, 2019. С. 1200-1202.