УДК 519.83

ИГРА ДИНАМИКИ МНЕНИЙ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ ПРИ ПОСТОЯННОМ УРОВНЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ

Ю.С. Кареева

Санкт-Петербургский государственный университет

Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

E-mail: st061419@student.spbu.ru, juliakareeva@gmail.com

А.А. Седаков

Санкт-Петербургский государственный университет

Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

E-mail: a.sedakov@spbu.ru

Ключевые слова: динамика мнений, влияние, равновесие по Нэшу, Парето-оптимальное решение.

Аннотация: В работе исследуется игра динамики мнений в социальной сети с активными и пассивными агентами на основе модели Фридкина-Джонсена. Предполагается, что активные агенты выбирают постоянные воздействия на мнения пассивных участников в течение некоторого временно́го промежутка с целью формирования определенного мнения у последних. В качестве концепции решения рассматривается равновесие по Нэшу, при котором активные агенты действуют в своих собственных интересах, и Парето-оптимальное решение, подразумевающее учет интересов их оппонентов.

1. Введение

Модели динамики мнений описывают процесс формирования мнений в социальной группе относительно некоторого вопроса. В литературе очень часто мнением считается некоторая величина, которая отражает, например, личную количественную оценку неизвестного параметра или вероятность определенного события. Центральной моделью динамики мнений является модель Де Гроота [1], в которой член социальной группы формирует свое мнение, ориентируясь на текущие мнения других членов и свое доверие им. Позже Фридкин и Джонсен [2] расширили классическую модель Де Гроота, наделив участников возможностью придерживаться своих изначальных взглядов. Такая характеристика участника называется конформностью.

Повсеместная интеграция социальных медиа и онлайн-платформ для общения во все сферы жизни создает широкие возможности для распространения идей и манипуляции мнениями. Агенты в социальных сетях могут играть активную или пассивную роль, при этом первая группа способна намеренно продвигать идеи среди участников второй. Подобное разделение происходит при распространении взглядов, фактов и информации с целью формирования желаемого мнения в социальной группе. Эта ситуация в литературе описывается моделями оптимального управления, в которых активный агент, ориентируясь на свою цель, выбирает политику влияния по манипулированию мнениями пассивных агентов [3–5]. При наличии нескольких конфликтующих сторон постановка становится теоретико-игровой [6–9].

В работе исследуется динамика мнений пассивных агентов (далее – *агентов*) в социальной сети с учетом дополнительного управляющего воздействия активных агентов (в дальнейшем – *игроков*), состоящее в манипулировании мнениями. Такое воздействие сопряжено с дополнительными затратами – прямыми издержками информационного влияния. Кроме этого, игрок несет затраты, связанные с отклонением его желаемого мнения от текущего мнения в обществе. В отличие от [9], мы рассмотрим случай, когда игроки выбирают постоянный уровень информационного влияния, не меняя своей тактики на протяжении игры. В рамках модели мы охарактеризуем равновесие по Нэшу – индивидуально-рациональное поведение конкурирующих игроков за мнения агентов, направленное на минимизацию индивидуальных затрат. В качестве альтернативы мы также формализуем оптимальное по Парето решение, подразумевающее координацию действий всех игроков и учет интересов оппонентов.

2. Модель

Пусть N и A – множества игроков и агентов, соответственно, при этом $|A| = a$, $|N| = n$ и $a \gg n$. Предполагается, что игрок может влиять на мнения агентов в социальной сети в течение конечного промежутка времени с периодами $\mathcal{T} = \{0, 1, \ldots, T\}$. Агенты, в отличие от игроков, не могут явным образом влиять на мнения остальных участников сети. Пусть $x_{j0} \in X \subset \mathbb{R}$ обозначает начальное мнение агента j, а $x_j(t) \in X \subset \mathbb{R}$ – его мнение в момент $t \in \mathcal{T} \setminus \{0\}$.

Игроки оказывают информационное влияние на агентов, стараясь изменить их мнение в предпочтительную для себя сторону. Влияние игрока выражается в выборе «постоянных» усилий (далее – *действий*) в течение рассматриваемого промежутка и обозначается через $u_i \in U_i \subset \mathbb{R}$, а набор действий всех игроков – через $u = (u_1, \ldots, u_n)$. Выбором постоянных усилий может, например, считаться выбор одинаковых в каждый момент мнений. Агент, в свою очередь, не только учитывает собственное мнение, но и также ориентируется на мнения в группе.

Следующая линейно-разностная система является расширением модели динамики мнений Фридкина–Джонсена при наличии информационного влияния:

$$x_j(t+1) = s_j\left(\sum_{\ell \in A} w_{j\ell} x_\ell(t) + \sum_{i \in N} b_{ji} u_i\right) + (1 - s_j) x_{j0}, \quad t \in \mathcal{T} \setminus \{T\},$$

с начальным условием $x_j(0) = x_{j0}$, $j \in A$. Здесь $s_j \in [0, 1]$ представляет собой степень конформности агента $j \in A$, т. е. его восприимчивость к любому внешнему воздействию, $w_{j\ell} \in [0, 1]$ – степень доверия агента $j \in A$ агенту $\ell \in A$, а $b_{ji} \in [0, 1]$ показывает степень доверия агента $j \in A$ игроку $i \in N$. Предполагается, что равенство $w_{j\ell} = w_{\ell j}$ не обязательно должно выполняться, но $\sum\limits_{\ell \in A} w_{j\ell} + \sum\limits_{i \in N} b_{ji} = 1$ для любого $j \in A$.

В отличие от агента, игрок не изменяет свое мнение по какому-либо правилу. Игроки выбирают действия таким образом, чтобы минимизировать свои затраты. Игрок $i \in N$ в каждый момент времени принимает во внимание текущее среднее (квадратичное) отклонение мнений агентов от его желаемого изначально заданного мнения $\hat{x}_i \in X$, к которому он хочет склонить агентов за отведенное время, а также свои прямые затраты на информационное влияние. Таким образом, функция затрат игрока i может быть записана в следующем виде:

$$J_i(x_0, u) = \sum_{t=0}^{T-1} \rho^t \left(\frac{\alpha_i}{a} \sum_{j \in A} (x_j(t) - \hat{x}_i)^2 + (1 - \alpha_i) c_i u_i^2 \right) + \rho^T \frac{\beta_i}{a} \sum_{j \in A} (x_j(T) - \hat{x}_i)^2.$$

Здесь $c_i > 0$ – затраты данного игрока при выборе u_i. С весом $\alpha_i \in [0, 1)$ игрок i ориентируется на свои затраты, связанные с отклонением мнений агентов от желаемого игроком, и с весом $(1 - \alpha_i)$ – на непосредственные затраты на влияние за один период. Параметр $\beta_i \geqslant 0$ – вес, придаваемый отклонению от желаемого мнения в терминальный момент, $\rho \in (0, 1]$ – параметр дисконтирования.

3. Концепции решения игры динамики мнений

Каждый из игроков стремится минимизировать свои общие затраты, выбирая политику постоянного информационного влияния. Естественным решением, не предполагающим их координацию, является равновесие по Нэшу, т. е. такой набор стратегий $u^{\mathrm{NE}} = (u_1^{\mathrm{NE}}, \ldots, u_n^{\mathrm{NE}})$, определяемый как

$$u_i^{\mathrm{NE}} = \arg\min_{u_i \in U_i} J_i(x_0, (u_i, u_{-i}^{\mathrm{NE}}))$$

для любого игрока $i \in N$. Здесь u_{-i}^{NE} – набор стратегий всех игроков в u^{NE} за исключением стратегии игрока i. Из определения равновесия по Нэшу следует, что ни один из игроков не заинтересован в одностороннем отклонении от равновесной стратегии, поскольку другая стратегия не приведет к улучшению его затрат.

В случае, когда игроки могут координировать информационное влияние и учитывать затраты других игроков, мы рассмотрим оптимальное по Парето решение. Общей целью игроков становится минимизация взвешенной суммы их затрат. Парето-оптимальное решение – это набор стратегий $u^{\mathrm{P}} = (u_1^{\mathrm{P}}, \ldots, u_n^{\mathrm{P}}) \in U$, $U = \prod_{i \in N} U_i$, определяемый как

$$u^{\mathrm{P}} = \arg\min_{u \in U} \sum_{i \in N} \theta_i J_i(x_0, u),$$

где $\theta_i > 0$ – вес, придаваемый индивидуальным затратам игрока $i \in N$ в совместных затратах, при этом $\sum_{i \in N} \theta_i = 1$. Варьируя веса θ_i, можно найти множество всех оптимальных по Парето решений, которые образуют Парето-фронт $\mathcal{P}$.

4. Заключение

В данной работе исследовалась теоретико-игровая модель динамики мнений Фридкина–Джонсена, допускающая информационное влияние на мнения агентов социальной сети. В качестве решения игры были выбраны равновесие по Нэшу и оптимальное по Парето решение для постоянного информационного влияния. Эти решения получены в явном виде, а также установлена линейная связь между уровнем информационного влияния в равновесии по Нэшу и Парето-оптимальном решении.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-11-00051, https://rscf.ru/project/22-11-00051/.

Список литературы

1. DeGroot M. H. Reaching a consensus // Journal of the American Statistical Association. 1974. Vol. 69, No 345. P. 118–121.
2. Friedkin N. E., Johnsen E. C. Social influence and opinions // Journal of Mathematical Sociology. 1990. Vol. 15, No 3–4. P. 193–206.
3. Gubanov D. A., Novikov D. A., Chkhartishvili A. G. Informational influence and informational control models in social networks // Automation and Remote Control. 2011. Vol. 72, P. 1557–1567.
4. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства // М: Физматлит. 2010.
5. Барабанов И. Н., Коргин Н. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А.Г. Динамические модели информационного управления в социальных сетях // Автоматика и телемеханика. 2010. № 11. С. 172–182.
6. Dhamal S., Ben-Ameur W., Chahed T., Altman E. Optimal investment strategies for competing camps in a social network: A broad framework // IEEE Transactions on Network Science and Engineering. 2019. Vol. NSE-6, No 4. P. 628–645.
7. Glass C. A., Glass D. H. Social influence of competing groups and leaders in opinion dynamics // Computational Economics. 2021. Vol. 58, No 3. P. 799–823.
8. Mazalov V., Parilina E. The Euler-equation approach in average-oriented opinion dynamics // Mathematics. 2020. Vol. 8, No. 3. P. 355.
9. Kareeva Y., Sedakov A., Zhen M. Influence in social networks with stubborn agents: From competition to bargaining // Applied Mathematics and Computation. 2023. Vol. 444. P. 127790.