

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАТТЕРНОВ АКТИВНОСТИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МИМО-АГЕНТОВ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЯХ¹¹⁷

Жилякова Л.Ю., Петров И.В.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
zhilyakova@ipu.ru, zyxzy@protonmail.ch

Аннотация: Предложена модель взаимодействий агентов, обладающих внутренней структурой и способных воспринимать и порождать активности различных типов. Агенты имеют распределение предпочтений по типам активности, пороговые функции активации и память. Модель предназначена для исследования динамических процессов распространения нескольких видов активности в социальных сетях.

Ключевые слова: МИМО-агенты, гетерогенные сети, социальные сети, активность в сетях, пороговые модели.

Введение

В настоящей работе мы исследуем распространение нескольких видов активности, порождаемой агентами, обладающими пороговыми функциями активации и внутренней структурой. Типы активности, заданные различными цветами, порождают различные функциональные сети в рамках одной структурной [1]. Существует ряд моделей распространения активности в сетях [2–4], в которых активность рассматривается как некоторый однородный процесс, охватывающий узлы и группы узлов сети. Мы предлагаем модель, в которой присутствует несколько типов активности, а узлы могут по-разному реагировать на каждый из типов. Редуцированная версия с двумя антагонистическими типами активности описана в [5]. Гетерогенная модель сети из биологических нейронов, взаимодействующих посредством «цветных» нейротрансмиттеров, представлена в [6]. В данной работе мы объединяем подходы из [5] и [6] для описания неоднородных информационных взаимодействий, происходящих в социальных сетях. Пользователи представлены агентами, имеющими множество входов разных типов и множество выходов разных типов. Именно в этом смысле мы называем таких агентов МИМО-агентами [7]. Построена имитационная модель. Приведены результаты численных экспериментов.

1 Гетерогенная модель социальной сети

1.1 Основные определения

Опишем сеть взаимодействия пользователей социальной сети как систему $S = \langle N, C, R \rangle$.

$N = \{1, \dots, N\}$ – множество агентов, обладающих внутренней структурой.

$C = \{c_1, \dots, c_m\}$ – типы интересов агентов.

Матрица R представляет собой структурную матрицу сети. Она соответствует ориентированному взвешенному графу влияний. Если $r_{ij} > 0$, то агент i влияет на агента j с силой r_{ij} .

Динамика системы происходит в дискретном времени t .

¹¹⁷ Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проекты 17-07-00541А, 18-29-22042мк.

В зависимости от задачи исследования семантика элементов множества S может быть различной. Рассмотрим одну из возможных интерпретаций – исследование распространения нескольких типов политической активности в социальных сетях. В этом случае, c_i могут быть «базисными типами» убеждений, на которые может быть разложена любая политически окрашенная активность.

Каждому агенту i для характеристики его интересов поставлен в соответствие вектор длины m , состоящий из весовых коэффициентов: $p_i = (p_{i1}, \dots, p_{im})$. Веса, не равные нулю, задают весь спектр выходных активностей агента. Значение p_{ik} характеризует частоту активности агента i по типу c_k .

На каждого агента может влиять множество его соседей. Если агент j влияет на агента i , будем считать, что в графе влияния существует дуга (j, i) . Под *влиянием* будем понимать следующее. Если агент j активен на такте t , то агент i при расчете своего состояния на такте $t + 1$ принимает во внимание активность агента j . Причем, расчет силы влияния агент i производит с учетом двух весовых коэффициентов – *постоянного* и *переменного*.

Постоянная компонента r_{ji} характеризует степень доверия агента i агенту j и задается структурной матрицей R .

Динамическая, или переменная, компонента влияния агента j на агента i , $\beta_{ik}(j)$, зависит от c_k – типа, по которому активировался агент j , и от распределения весовых коэффициентов агента i : $p_i = (p_{i1}, \dots, p_{im})$.

Коэффициенты β_{ik} рассчитываются по формуле:

$$(1) \quad \beta_{ik} = w_i \frac{p_{ik}}{\sum_{l=1}^m p_{il}}.$$

Тогда если агент j активен в момент t по типу c_k , его влияние на агента i описывается формулой:

$$(2) \quad e_{jik} = \beta_{ik}(j) \cdot r_{ij}.$$

Тогда формулы для расчета воздействия на такте t на агента i по каждому типу в отдельности $e_{ik}(t)$ и суммарного воздействия на него $E_i(t)$ будут следующими

$$(3) \quad e_{ik}(t) = \beta_{ik} \sum_{j=1}^N r_{ji} y_{jk}(t-1),$$

$$(4) \quad E_i(t) = \sum_{k=1}^m e_{ik}(t) = \sum_{k=1}^m \beta_{ik} \sum_{j=1}^N r_{ji} y_{jk}(t-1).$$

где $y_{jk}(t) \in \{0, 1\}$ – активность агента j в момент времени t по типу c_k .

1.2 Активность агентов, пороги и память

На каждом такте времени агент претерпевает внешнее воздействие, описываемое формулами (3)–(4). Кроме того, агент помнит о предыдущих состояниях сети и учитывает их при определении суммарного воздействия.

Активность агента на такте t задается вектором $y_i(t)$ длины m , в котором все компоненты, кроме, возможно, одной, равны 0. Если агент на такте t активен по типу c_k , то $y_{ik}(t) = 1$.

Каждый агент сети обладает памятью глубиной не более чем Θ . Для расчета суммарного возбуждения агента на такте t производится линейная свертка воздействий от всех его соседей, активных в один или несколько тактов на отрезке $[t - \Theta, t]$.

По аналогии с формулами (3)–(4), имеют место формулы:

$$(5) \quad a_{ik}(t) = \sum_{\theta=1}^{\Theta} \mu_{i\theta} e_{ik}(t-\theta) = \sum_{\theta=1}^{\Theta} \mu_{i\theta} \beta_{ik} \sum_{j=1}^N r_{ji} y_{jk}(t-\theta).$$

$$(6) \quad A_i(t) = \sum_{\theta=1}^{\Theta} \mu_{i\theta} E_{ik}(t-\theta) = \sum_{\theta=1}^{\Theta} \mu_{i\theta} \sum_{k=1}^m \beta_{ik} \sum_{j=1}^N r_{ji} y_{jk}(t-\theta).$$

где $\mu_{i\theta}$ – неотрицательные коэффициенты дисконтирования, удовлетворяющие соотношению:

$$1 = \mu_{i1} > \mu_{i2} \geq \dots \geq \mu_{i\Theta}.$$

Агент активен на такте t , если величина $A_i(t)$ (формула (6)) превысила *пороговое значение*.

Если на такте t агент активизируется, его память обнуляется. Накопление памяти происходит до тех пор, пока агент не проявляет активности.

Пороговое значение агента Th_i характеризует его готовность к активности. Если порог Th_i превышен, агент активизируется по одному из типов, определяемых компонентами вектора $a_i(t)$ (формула (5)).

Агент i активизируется по типу c_k , если k удовлетворяет условию $k = \arg \max_l a_{il}(t)$. То есть, агент выбирает тот тип, со стороны которого испытывает самое сильное воздействие.

2 Результаты имитационного моделирования

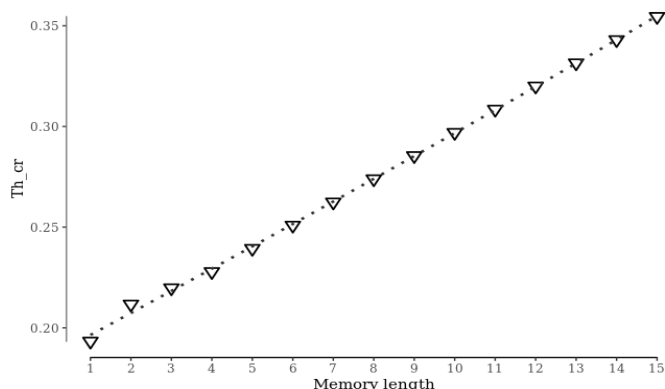


Рис. 1. Зависимость порогов от длины памяти

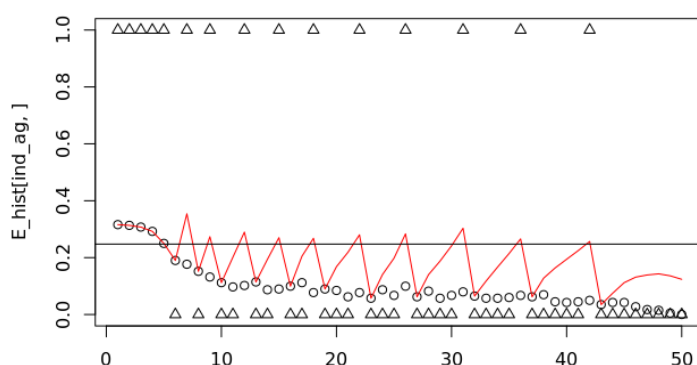


Рис. 2. Динамика готовности к активации и активности агента

Литература

1. Newman M.E.J. The structure and function of complex networks. SIAM Rev 45(2):167–256. 2003.
2. Kempe D., Kleinberg J., Tardos E. Maximizing the Spread of Influence through a Social Network // Proceedings of the 9-th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 2003. P. 137-146.
3. Breer V.V., Novikov D.A., Rogatkin A.D. Mob Control: Models of Threshold Collective Behavior. Series: “Studies in Systems, Decision and Control”. – Heidelberg: Springer, 2017. – 134 p.
4. Gubanov D.A., Chkhartishvili A.G. Models of information opinion and trust control of social network members / Proceedings of the 18th IFAC World Congress, 2011 World Congress. Milano: International Federation of Automatic Control (IFAC), 2011. P. 1991-1996.
5. Zhilyakova L., Gubanov D. Double-threshold Model of the Activity Spreading in a Social Network. The Case of Two Types of Opposite Activities // Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies AICT2017. 2017. Vol.2. P. 267-270.
6. Bazhenkov N., Dyakonova V., Kulivets S., Kuznetsov O., Sakharov D., Vorontsov D., Zakharov I., and Zhilyakova L. Discrete Modeling of Neuronal Interactions in Multi-Transmitter Networks // Scientific and Technical Information Processing. 2018. Vol. 45, No. 5. P. 283–296.
7. Zhu L., Chen X., Chen Z., Hill D. J. Output Synchronization of Linear MIMO Heterogeneous Multi-agent Systems via Output Communication / IFAC PapersOnLine 50-1 (2017) 1748–1753.