

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МИМО-АГЕНТОВ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

Л.Ю. Жиликова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65

E-mail: zhilyakova@ipu.ru

Ключевые слова: распространение активности, пороговые модели, гетерогенные сетевые модели, социальные сети, МИМО-агенты.

Аннотация: В работе описана формальная модель разнородных взаимодействий пользователей социальной сети. Модель предназначена для исследования динамических процессов распространения нескольких взаимодействующих видов активности. Пользователи представлены гетерогенными агентами, имеющими множество входов разных типов и множество выходов разных типов (МИМО-агентами). По каждому из возможных выходов агенты имеют пороговые функции активации, зависящие как от внешних воздействий, так и от предыдущих состояний агентов. Кроме того, для каждого агента заданы правила преобразования типов активности в тех случаях, когда множества типов входных и выходных активностей различны.

1. Введение

Анализ данных, полученных за последние годы в ряде предметных областей, таких как биология, нейрофизиология, социология, когнитивные науки, показывает, что внутрисистемные взаимодействия в них могут быть описаны большими сетями со сходными статистическими свойствами, т.н. сложными, или безмасштабными, сетями [1]. По происхождению эти сети можно условно разделить на два больших класса. Первый из них задает статическую структуру связей, в которой представлены все потенциально возможные взаимодействия; второй – это актуализированные динамические подсети, возникающие при распространении той или иной активности, т.е. функциональные сети [1-3]. Причем, под *активностью* можно понимать как некоторый однородный динамический процесс, развивающийся во времени и последовательно охватывающий различные узлы и группы узлов [4-6], так и разнородные процессы, отличающиеся способами воздействия на одни и те же узлы, порогами активации, скоростью распространения [7].

Абстрактная гетерогенная модель, описанная в [7], легла в основу предметных моделей ([8] и, частично, [9]). Работа [8] содержит исследование распространения пары антагонистических активностей в среде агентов с заданными связями. Каждый из агентов характеризуется уникальным набором параметров, включающих в себя два порога активации (по одному на каждый тип активности), два потенциала, характеризующих близость к активации по тому или иному типу, и знаки, указывающие на отношение агента к каждому из типов активности. В статье [9] строится модель гетерогенной нейронной сети, в которой нейроны взаимодействуют с помощью нескольких различных нейротрансмиттеров, поступающих в общее внеклеточное пространство (ВКП). Нейро-

ны в этой модели обладают эндогенной активностью и способны генерировать спайки в отсутствие внешних воздействий. При активации нейроны выбрасывают специфический для них трансмисмиттер в ВКП; нейроны имеют наборы рецепторов, каждый из которых способен воспринимать один трансмисмиттер. Трансмисмиттеры, в зависимости от весов рецепторов, могут оказывать тормозящее или возбуждающее воздействие на нейрон. Таким образом, разный химический состав ВКП может породить разные паттерны активности нейронных ансамблей.

В настоящей работе формализмы из [7 – 9] модифицированы для моделирования разнородных взаимодействий пользователей социальной сети и исследования динамических процессов распространения нескольких интерферирующих видов активности. Пользователи представлены агентами, имеющими множество входов разных типов и множество выходов разных типов (причем, входное и выходное множества не всегда совпадают). Именно в этом смысле будем называть таких агентов ММО-агентами. В [10] описана модель синхронизации гетерогенных ММО-агентов. Мы будем рассматривать не синхронизацию и поиск консенсуса, а распространение нескольких разных видов активностей в гетерогенных сетях ММО-агентов.

2. Описание модели

2.1. Основные понятия

Опишем сеть взаимодействия сложных агентов как систему $S = \langle N, C, R_c \cup \{R_0\} \rangle$.

$N = \{1, \dots, M\}$ – множество агентов, обладающих внутренней структурой. Структура агентов будет описана в разделе 2.2.

$C = \{c_1, \dots, c_m\}$ – множество типов активности, потенциально возможных в сети. Будем ассоциировать их с различными цветами.

$R_c = \{R_{c_1}, \dots, R_{c_m}\}$ – множество матриц размера $N \times N$, задающих цветные графы, связывающие агентов по выделенному типу активности, R_0 – матрица графа связей, не относящихся ни к одному из перечисленных типов, и, соответственно, не имеющих цвета.

Цвета c_i соответствуют активностям различной семантики. Например, c_1 – политическая активность (политические интересы), c_2 – спортивные интересы, c_3 – рукоделие, c_4 – охота и рыбалка. Разумеется, в зависимости от модели, эти типы могут укрупняться или детализироваться. Так, c_1 можно разбить на либеральную и консервативную части, c_2 разделить по видам спорта, в c_3 выделить вязание, кройку и шитье, и т.д.

Каждый пользователь социальной сети имеет некоторый набор интересов и соответствующий круг общения по каждому из них. Некоторые из этих кругов могут сильно пересекаться, другие – практически не имеют пересечений. Каждый такой круг общения задается своей матрицей R_{c_i} .

Введем матрицу $R = R_0 + \sum_{i=1}^m R_{c_i}$. Эта матрица соответствует всем возможным потенциальным связям между агентами. Будем называть ее *полной структурной матрицей* сети.

Заметим, что полная структурная матрица остается неизменной при любом задании множеств активности C и, соответственно, любом разбиении ее на составляющие R_{c_i} . В предельном случае, когда $C = \{c_1\}$, модель вырождается в однородную пороговую модель распространения активности.

Набор типов активностей C является основополагающим для структуры возникающих функциональных сетей. При выделении типов моделируемых активностей одни потенциальные связи между агентами будут использованы целиком, другие – частично,

третьи – будут полностью игнорироваться. Так, если исследуется сеть профессиональных связей, то такие свойства агентов как их хобби, способы проведения досуга, литературные предпочтения и многие другие, не будут вносить вклад в топологию сети. Однако для других исследований сеть, образованная теми же агентами, может быть составлена из принципиально иных связей.

Все графы сети ориентированы. Если между агентами i и j существует направленная связь цвета c_k , это означает, что агент i может быть активен по типу c_k , а агент j может быть восприимчив к этому цвету, таким образом, агент i влияет на агента j по типу c_k с силой влияния $(r_{c_k})_{ij}$.

Динамика системы происходит в дискретном времени t .

Опишем структуру произвольного агента и дадим определение его «активности» и «восприимчивости». Восприимчивость соответствует множеству входов – *Multiple Input*, а потенциально разные типы активности – множеству выходов, *Multiple Output*.

2.2. Структура ММО-агентов

На каждого агента может влиять множество его соседей, причем, влияние некоторого типа активности может быть как возбуждающим, так и тормозным. Возбуждение или торможение является не атрибутом самого цвета (типа активности), а пары [агент + цвет], поскольку реакция каждого агента на данный цвет индивидуальна. Будем ассоциировать возбуждение со знаком «+», торможение – со знаком «-». Поскольку знак каждого цвета является индивидуальной характеристикой агента, будем приписывать знаки не весам связей (элементам матриц), а некоторым обобщенным слотам, куда будут собираться все входные связи данного цвета. Тогда веса при любом знаке воздействия будут соответствовать его силе; в этом случае суммирование матриц R_{c_i} в формуле для матрицы R будет корректным.

Под весом слота будем понимать суммарную полустепень захода дуг данного цвета. Для агента i и цвета c_j обозначим этот вес через r_{ij}^{in} . Знак слота будем обозначать через $s_{ij} \in \{1, -1\}$.

Таким образом, произвольный агент i характеризуется следующим набором параметров:

- множество входных слотов (их цвета c_j^{in} , веса r_{ij}^{in} и знаки s_{ij});
- множество выходных активностей и соответствующих им выходных дуг (их цвета c_k^{out} и веса $(r_{c_k})_{il}$);
- правила преобразования входных активностей в выходные;
- пороги активации P_{ik} ;
- память.

Множество выходных активностей задает весь потенциальный набор ответов агента на пришедшее возбуждение. В каждый момент времени агент может быть активным по одному или нескольким типам, т.е. иметь выходную активность одного или нескольких цветов. Типы активации задаются правилами преобразования входной активности в выходную. Наборы цветов входных и выходных активностей могут не совпадать. Для того чтобы каждый агент мог при активации выбрать один или несколько из доступных ему цветов, задаются правила их преобразования.

2.2.1. Правила преобразования типов активностей. Опишем правила преобразования входных активностей в выходные на абстрактном примере.

Пусть агент i имеет три входных положительных активности с цветами c_1^{in} , c_2^{in} , c_3^{in} и две потенциальных выходных активности c_1^{out} , c_4^{out} .

- I. *Single Input, Single Output*. Поскольку тип c_1 имеется в обоих множествах, правило для него задается простым соответствием: $c_1^{in} \rightarrow c_1^{out}$. Назовем его *SISO-правилом первого типа*:

$$c_k^{in} \rightarrow c_k^{out} \text{ — что на входе, то и на выходе.}$$

- II. *Single Input, Single Output*. Тип c_2 отсутствует в потенциально возможных выходах агента i . Он может преобразоваться целиком в один из доступных видов, например, c_1 : $c_2^{in} \rightarrow c_1^{out}$. Такое правило будем называть *SISO-правилом второго типа*:

$$c_k^{in} \rightarrow c_l^{out} \text{ — на входе одна активность, на выходе другая.}$$

- III. *Multiple Input, Single Output*. Если на входе у агента присутствуют одновременно две активности c_1 и c_2 , агент, как видно из двух предыдущих случаев, активизируется по одному и тому же типу: c_1 . Это правило *MISO*, которое также может быть в двух конфигурациях. В первой конфигурации один из цветов выходных активностей совпадает с входным цветом, во второй — все цвета разные.

$$\{c_k^{in}, \dots, c_j^{in}\} \rightarrow c_k^{out};$$

$$\{c_k^{in}, \dots, c_j^{in}\} \rightarrow c_l^{out}, l \notin \{k, \dots, j\}.$$

- IV. *Single Input, Multiple Output*. Тип c_3 также отсутствует в потенциально возможных выходах агента. Однако, в отличие от c_2 , он трансформируется не в одну, а сразу в две выходные активности: c_1 и c_4 . Это правило назовем правилом *SIMO*. Оно также может быть двух типов.

$$c_k^{in} \rightarrow \{c_k^{out}, \dots, c_j^{out}\};$$

$$c_l^{in} \rightarrow \{c_k^{out}, \dots, c_j^{out}\}, l \notin \{k, \dots, j\}.$$

- V. *Multiple Input, Multiple Output*. Если на входе у агента присутствуют одновременно две активности c_1 и c_3 , агент активизируется по двум типам: c_1 и c_4 . Это правило *MIMO*:

$$\{c_k^{in}, \dots, c_j^{in}\} \rightarrow \{c_l^{out}, \dots, c_p^{out}\}.$$

Множества цветов в левой и правой части правила *MIMO* могут пересекаться или быть полностью различными.

2.2.2. Время. Распространение активностей в сети происходит в дискретном времени t . В начале каждого такта агенты рассчитывают свои функции активации по каждому типу, а затем активируются, если значения некоторых функций превысили пороговые величины. На первом такте, поскольку внешнего возбуждения еще не было, активируются агенты с нулевыми порогами активации.

2.2.3. Пороги активации. Если бы преобразование цветов активностей ограничивалось только первыми тремя случаями, т.е., выход был бы всегда только одного цвета, активация агента зависела бы только от одного порога: вклад множественных входных активностей задавался бы с помощью соответствующих весов дуг графа. Однако при множественной выходной активности (правила IV и V) агент, в принципе, может активизироваться по любому из подмножеств «разрешенного множества» активностей. Поэтому, единый порог активации недостаточен для проведения различий в множественной выходной активности агента.

Таким образом, на каждой выходной тип c_k^{out} существует отдельный порог активации P_{ik} . Однако агент активируется на некотором такте t не только в том случае, если

некоторое возбуждение превысило порог на этом такте. Он помнит предыдущие состояния сети и активности в ней, поэтому с порогом сравнивается сумма двух величин: возбуждения/торможения и памяти.

2.2.4. Память. Введем величину возбуждения (функцию активации) агента i по типу c_k .

$$M_{ik}(t) = \alpha \cdot M_{ik}(t-1) + \sum_{c_k \in C_i^{out}(t)} S_{ik} \cdot r_{ik}^{in}.$$

Первое слагаемое соответствует памяти агента о внешнем воздействии на него по данному типу, пришедшем на предыдущих тактах. Коэффициент $\alpha \in (0, 1)$ задает скорость забывания агента. Второе слагаемое определяет воздействие на текущем такте t . Суммирование происходит по множеству типов $C_i^{out}(t)$. Оно соответствует всем таким типам c_k^{out} , для которых нашлись входные воздействия на агента, присутствующие в левой части хотя бы одного правила, в правой части которого присутствует c_k^{out} .

Рассчитанное значение $M_{ik}(t)$ может быть как положительным, так и отрицательным, если агент получает только тормозные воздействия. Это значение сравнивается с пороговыми величинами всех цветов из множества типов $C_i^{out}(t)$. Если для некоторого цвета порог превышен, агент активируется по данному типу. Активность агента распространяется ко всем его соседям по данному цвету (данным цветам).

3. Заключение

В работе описана модель распространения нескольких видов активности в сети, составленной взаимодействующими гетерогенными ММО-агентами.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты 18-29-22042мк, 17-07-00541а).

Список литературы

1. Newman M.E.J. The structure and function of complex networks // SIAM Rev. 2003. Vol. 45, No. 2. P. 167-256.
2. Bullmore E. Sporns O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems // Nature Reviews Neuroscience. 2009. Vol. 10. P. 186-198.
3. Baronchelli A., Ferrer-i-Cancho R., Pastor-Satorras R., Chater N., Christiansen M.H. Networks in Cognitive Science // Trends in Cognitive Sciences. 2013. Vol. 17, No. 7.
4. 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.
5. 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.
6. Gubanov D.A., Chkhartishvili A.G. Models of information opinion and trust control of social network members // IFAC Proceedings Volumes. 2011. Vol. 44, No. 1. P. 1991-1996.
7. Жилиякова Л.Ю. Сетевая модель распространения нескольких видов активности в среде сложных агентов и её приложения // Онтология проектирования. 2015. Т. 5, № 3 (17). С. 278-296.
8. 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.
9. Kuznetsov O.P., Bazenkov N.I., Boldyshev B.A., Zhilyakova L.Yu., Kulivets S.G., Chistopolsky I.A. Discrete Model of Asynchronous Multitransmitter Interactions in Biological Neural Networks // In: Kuznetsov S., Osipov G., Stefanuk V. (Eds) Artificial Intelligence. RCAI 2018. Communications in Computer and Information Science. Vol 934. Springer, 2018. P. 190-205. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00617-4_18

10. Zhu L., Chen X., Chen Z., Hill D. J. Output Synchronization of Linear MIMO Heterogeneous Multi-agent Systems via Output Communication // IFAC-PapersOnLine. 2017. Vol. 50, No. 1. P. 1748-1753. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.503>