

УДК: 519.8

Академическая сеть как возбудимая среда

Ю. Ю. Тарасевич^а, В. А. Зелепухина^б

Астраханский государственный университет,
Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 20а

E-mail: ^а tarasevich@asu.edu.ru, ^б viktorija_82@mail.ru

Получено 4 ноября 2014 г.

В работе проведено моделирование распространения некой идеи в профессиональной виртуальной группе. Мы рассматриваем распространение возбуждения в неоднородной возбудимой среде высокой связности. Предполагается, что элементы сети образуют полный граф. Параметры элементов распределены по нормальному закону. Моделирование показало, что в зависимости от параметров в виртуальной группе интерес к идее может затухать или испытывать колебания. Наличие в сети постоянно возбужденного элемента достаточно высокой активности приводит к хаотизации — доля членов сообщества, активно интересующихся идеей, меняется нерегулярно.

Ключевые слова: академическая сеть, возбудимая среда, моделирование

Academic network as excitable medium

Yu. Yu. Tarasevich, V. A. Zelepukhina

Astrakhan State University, 20a Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russia

Abstract. — The paper simulated the spread of certain ideas in a professional virtual group. We consider the propagation of excitation in an inhomogeneous excitable medium of high connectivity. It is assumed that the network elements form a complete graph. Parameters of the elements are normally distributed. The simulation showed that interest in the idea can fade or fluctuate depending on the settings in the virtual group. The presence of a permanent excited element with relatively high activity leads to chaos — the fraction of members of the community actively interested in an idea varies irregularly.

Keywords: academic network, excitable medium, simulation

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 177–183 (Russian).

Введение

И поучал их много притчами, говоря: вот, вышел сеятель сеять;
и когда он сеял, иное упало при дороге, и налетели птицы и поклевали то;
иное упало на места каменистые, где немного было земли, и скоро взошло,
потому что земля была неглубока.
Когда же взошло солнце, увяло, и, как не имело корня, засохло;
иное упало в терние, и выросло терние и заглушило его;
иное упало на добрую землю и принесло плод: одно во сто крат, а другое
в шестьдесят, иное же в тридцать.

Мф. 13:3–8

Вопрос о том, как некая идея завладевает умами, распространяется, развивается и умирает, представляет несомненный интерес, поскольку позволяет понять механизмы коллективных действий социальных групп. В отличие от библейских времен в XXI веке основным способом передачи информации являются такие коммуникационные средства, как СМИ, мобильная связь и Интернет. Если традиционные средства передачи информации предполагали распространение по цепочке от человека к человеку, то сейчас информация может быть одновременно доведена до миллионов членов общества.

Частным, но весьма важным случаем является распространение некой идеи внутри виртуальной среды (социальные сети, блогосферы). Особенностью виртуальных групп по интересам является то, что существенная часть членов группы напрямую общается друг с другом. Используются разнообразные модели распространения влияния и формирования мнения в социальных сетях [Губанов и др., 2009; Васенин и др., 2014а; Васенин и др., 2014b; Кузнецов, 2014; Myers et al., 2012]. Виртуальные среды можно рассматривать в качестве возбудимой среды [Klimek et al., 2011].

В настоящей работе мы пытаемся моделировать, как, например, некая новая научная идея или новое научное направление распространяется в научном сообществе.

Описание модели

Модель Винера–Розенблюта

В 1946 г. Винер и Розенблют предложили простую модель, которая позволяет анализировать разнообразные режимы распространения возбуждения в *однородной* нейронной сети или сердечной мышце [Wiener, Rosenblueth, 1946] (перевод на русский [Винер, Розенблют, 1961]).

Модель была обобщена [Rosenblueth, 1958; Зыков, Михайлов, 1986], дальнейшее изложение соответствует именно обобщенной модели и следует книге [Mikhailov, 1990]. В соответствии с этой моделью возбудимая среда состоит из элементов, которые имеют три возможных состояния: *состояние покоя*, *состояние возбуждения* и *рефрактерное состояние*. Первоначально элементы находятся в состоянии покоя. Под действием внешнего возбуждения, интенсивности не ниже порогового значения h , элемент переходит в состояние возбуждения и остается в нем в течение определенного времени τ_e . Состояние возбуждения сменяется рефрактерным состоянием. Никакое внешнее воздействие не может перевести элемент из рефрактерного состояния в состояние возбуждения. По прошествии определенного времени τ_r элемент возвращается из рефрактерного состояния в состояние покоя и вновь может быть возбужден. В рамках такой модели удалось описать возникновение в активной среде спиральных волн и ряд других интересных эффектов.

В модели Винера–Розенблюта двумерная сетка состоит из элементов, пронумерованных парой индексов — i и j . Состояние элементов определяется двумя переменными: Φ_{ij}^n — фазой и u_{ij}^n — концентрацией активатора. Здесь верхний индекс n означает номер временного шага.

Элемент переходит из состояния покоя в состояние возбуждения, если концентрация активатора превышает пороговое значение h . Затем элемент претерпевает последовательность переходов, каждый из которых увеличивает его фазу на единицу. Когда фаза становится равной $\tau_e + \tau_r$, элемент возвращается в исходное состояние покоя.

Активатор производится элементами, находящимися в возбужденном состоянии. Кроме того, активатор распадается с течением времени $u_{ij}^{n+1} = gu_{ij}^n$.

Модификация модели Винера–Розенблюта на случай интернет-сообщества

Важной особенностью социальных систем является то, что в отличие от однородной нейронной сети, их элементы не являются эквивалентными: каждый элемент характеризуется собственными значениями порога возбуждения ($h \rightarrow h_{ij}$), скорости распада активатора ($g \rightarrow g_{ij}$), времени жизни возбужденного состояния ($\tau_e \rightarrow \tau_{ij}^e$) и времени пребывания в рефрактерном состоянии ($\tau_r \rightarrow \tau_{ij}^r$). Тогда переходы между состояниями осуществляются в соответствии со следующими правилами:

$$\Phi_{ij}^{n+1} = \begin{cases} \Phi_{ij}^n + 1, & \text{если } 0 < \Phi_{ij}^n < \tau_{ij}^e + \tau_{ij}^r, \\ 0, & \text{если } \Phi_{ij}^n = \tau_{ij}^e + \tau_{ij}^r, \\ 0, & \text{если } \Phi_{ij}^n = 0 \text{ и } u_{ij}^{n+1} < h_{ij}, \\ 1, & \text{если } \Phi_{ij}^n = 0 \text{ и } u_{ij}^{n+1} \geq h_{ij}. \end{cases}$$

Особенностью интернет-сообществ, например, социальных или академических сетей, является высокая связность [Klimek et al., 2011]. Рассматривая n участника сообщества (сети) в качестве вершины графа, а его связи с другими членами сообщества в качестве ребер графа, получим связный граф с валентностью вершин, близкой или равной $n-1$, т. е. имеем полный граф или граф, близкий к полному. Такое предположение представляется разумным, если речь идет не о виртуальной академической сети в целом, а только о ее части — узкой профессиональной группе. Если тематика группы узкая и специфическая, то каждый член группы взаимодействует со всеми остальными участниками группы. Понятно, что каждый из участников может иметь многочисленные контакты и за пределами данной группы, но, скорее всего, эти связи не будут оказывать существенного влияния на развитие некой специфической идеи, представляющей интерес в первую очередь для ограниченного круга специалистов.

Мы ограничим дальнейшее рассмотрение случаем полного графа K_n и будем считать, что влияние каждого члена сообщества на любого другого одинаковое. Таким образом, любая вершина графа получает активатор от всех возбужденных вершин графа.

$$u_{ij}^{n+1} = g_{ij}u_{ij}^n + \sum_{k,l} C_{kl}I_{i+k,j+l}^n \tag{1}$$

где матрица C_{kl} описывает величину взаимного влияния элементов друг на друга (с учетом сделанного нами предположения $C_{kl} = 1$ — все участники сообщества имеют равное влияние друг на друга),

$$I_{ij}^n = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 < \Phi_{ij}^n \leq \tau_{ij}^e, \\ 0, & \text{если } \tau_{ij}^e < \Phi_{ij}^n \leq \tau_{ij}^e + \tau_{ij}^r \text{ или } \Phi_{ij}^n = 0. \end{cases}$$

В уравнении (1) первое слагаемое описывает распад активатора в текущей вершине графа, а второе — поступление активатора от других вершин.

Удобно ввести в рассмотрение число элементов, находящихся на данном шаге в состоянии возбуждения,

$$E^n = \sum_{i,j} I_{i,j}^n.$$

Для каждого временного шага эту величину достаточно вычислить только один раз. Тогда для сети с равным влиянием членов друг на друга

$$u_{ij}^{n+1} = g_{ij}u_{ij}^n + E^n - I_{ij}^n.$$

Результаты моделирования

При проведении вычислительного эксперимента был использован граф K_{100} . Представляется, что 100 — правильный по порядку величины размер типичной тематической группы. Предположение о том, что 1000 членов сообщества напрямую взаимодействуют друг с другом, выглядит нереалистичным. Для таких и более крупных сообществ структура в виде полного графа в моделировании применяться не может.

Предполагается, что распределение значений всех параметров близко к нормальному (гауссовому) распределению. Такое предположение позволяет промоделировать различные психологические темпераменты. При этом значения различных параметров, соответствующих одной вершине графа (члену сообщества), независимы.

Поскольку виртуальное сообщество не является изолированным от внешнего мира, некая информация, представляющая интерес для членов конкретного сообщества, может циркулировать не только внутри сообщества, но и поступать извне.

Рассмотрим две ситуации. В первом случае будем моделировать сообщество, в котором нет ярко выраженного лидера, назовем такую сеть аморфной. Дополнительно рассмотрим ситуацию, когда в сообществе имеется пассионарная личность или внешний постоянный сильный источник возбуждения.

Аморфная сеть

На рисунках 1, 2, 3 представлены результаты моделирования. Показана доля возбужденных вершин E/n на различных временных шагах.

Начальная концентрация активатора в узлах задана случайным образом: u_0/n узлов имеют концентрацию активатора, равную пороговой h , остальные — нулевую концентрацию активатора. Узлам приписаны случайные начальные фазы $0 \leq \Phi_{ij} \leq \tau_{ij}^e + \tau_{ij}^r$.

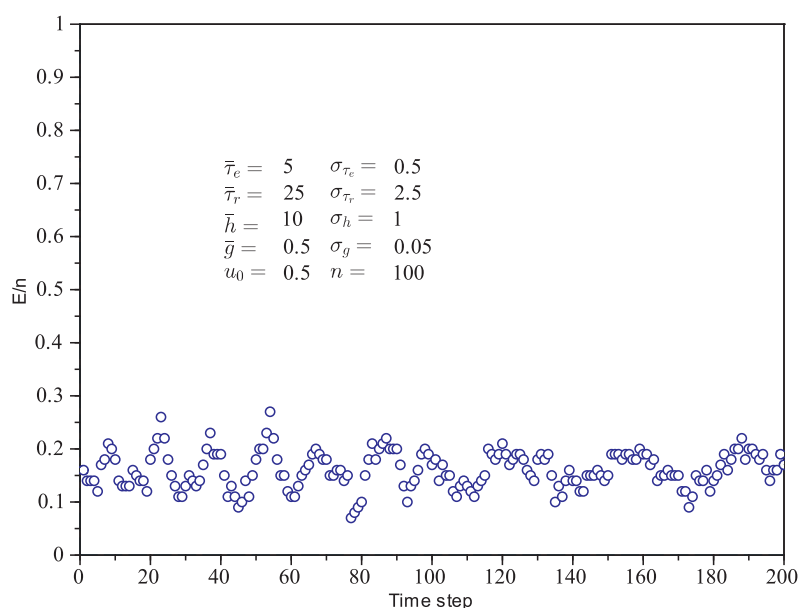


Рис. 1. Колебания. Незначительная часть сообщества одновременно вовлечена в обсуждение темы

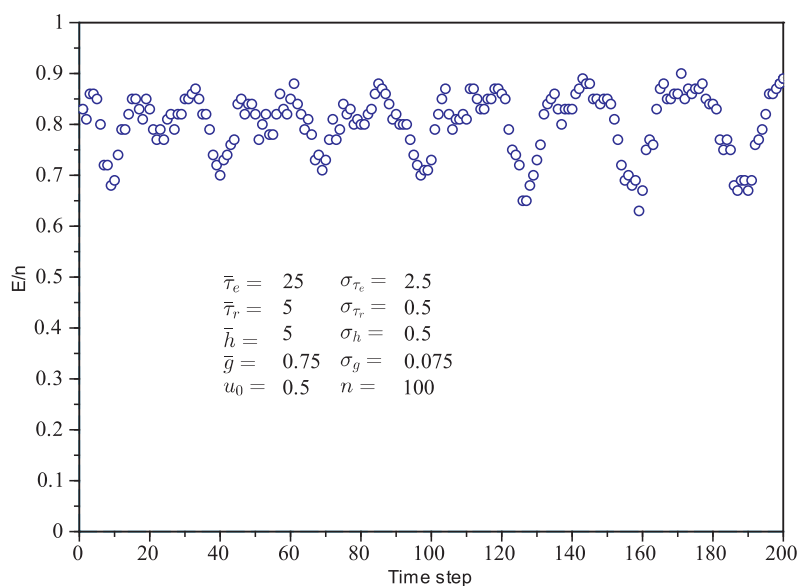


Рис. 2. Колебания. Значительная часть сообщества одновременно вовлечена в обсуждение темы

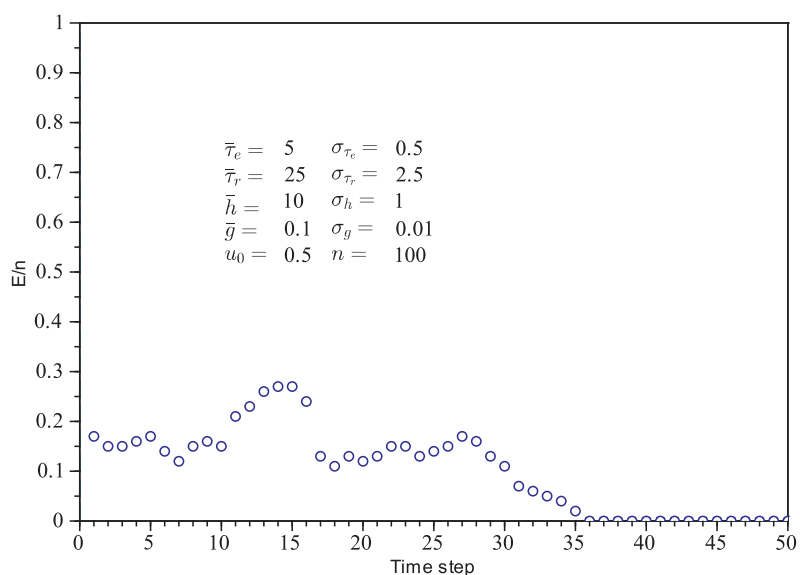


Рис. 3. Затухание возбуждения

Сеть с активным центром

Мы не сделали скандала —
 Нам вождя не доставало.
 Настоящих буйных мало —
 Вот и нету вожаков.

В. С. Высоцкий

Рассмотрим иную ситуацию, когда имеется постоянная подпитка интереса к теме: имеется стабильный и достаточно мощный источник активатора. Таким источником может быть как окружающая среда (например, СМИ), так и некая пассионарная личность внутри сообщества.

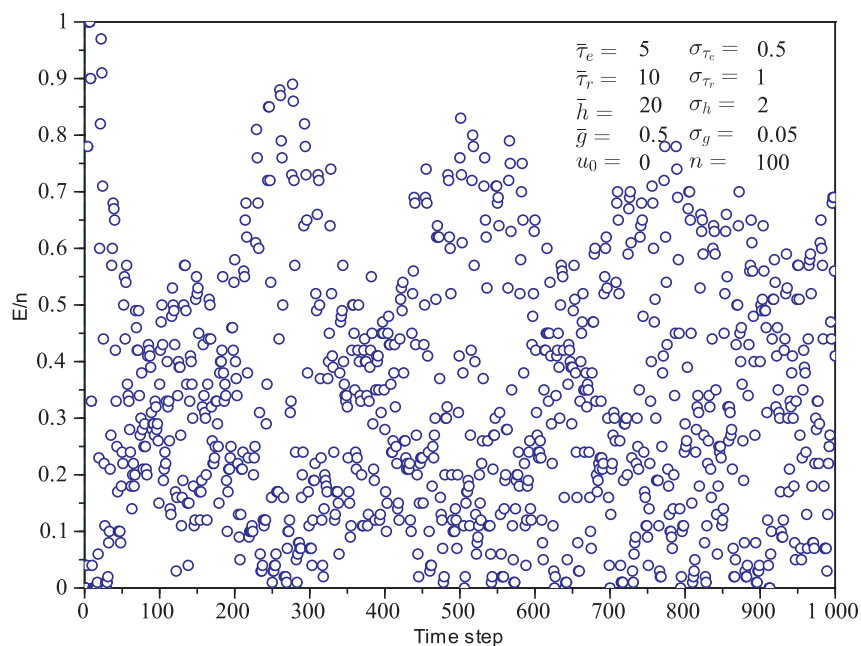


Рис. 4. Хаотическая динамика интереса к проблеме

Предположим, что исходно все элементы сети находятся в состоянии покоя. Источник активатора на каждом шаге передает каждому элементу фиксированное количество активатора. Тогда в правой части уравнения (1) добавится постоянное слагаемое.

В этом случае доля членов сообщества, активно вовлеченных в обсуждение темы, меняется хаотически (рис. 4).

Заключение

Я знал одной лишь думы власть,
Одну — но пламенную страсть:
Она, как червь, во мне жила,
Изгрызла душу и сожгла.

М. Ю. Лермонтов

Вероятно, наиболее существенным ограничением модели является то, что в сети одновременно может циркулировать только одна идея. Такое предположение справедливо только в том случае, когда некая идея является доминирующей и притягательной для всех членов сообщества. В большинстве случаев в реальных сообществах одновременно могут обсуждаться и находить сторонников несколько альтернативных идей.

Естественным направлением обобщения модели является предположение о том, что влияние различных членов сообщества друг на друга различное. В этом случае коэффициенты C_{kl} образуют, вообще говоря, несимметричную матрицу смежности взвешенного полного графа. Более того, некоторые коэффициенты могут быть отрицательными, отражая тот факт, что приверженность некоторых членов сообщества определенной концепции делает эту концепцию абсолютно неприемлемой для части сообщества.

Предложенная модель является концептуальной, она не может претендовать на детальное описание того, как конкретная идея завладевает умами членов конкретной академической сети. Тем не менее модель вполне допускает детализацию и использование ее для моделирования

реальных виртуальных сообществ при условии, что структура сети и параметры ее элементов будут соответствовать связям и свойствам элементов реальной виртуальной группы.

Список литературы

- Васенин В. А., Афонин С. А., Панюшкин Д. С.* Модели распространения информации в социальных сетях // Программная инженерия. — 2014а. — № 2. — С. 33–42.
- Васенин В. А., Афонин С. А., Панюшкин Д. С.* Модели распространения информации в социальных сетях: тестовые испытания // Программная инженерия. — 2014b. — № 4. — С. 35–41.
- Винер Н., Розенблют А.* Математическая формулировка проблемы проведения импульсов в сети связанных возбуждённых элементов, в частности в сердечной мышце // Кибернетический сборник. — М.: Иностранная литература, 1961. — Т. 3. — С. 7–56.
- Губанов Д. А., Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г.* Модели влияния в социальных сетях // Управление большими системами: сборник трудов. — 2009. — Т. 27. — С. 205–281.
- Зыков В. С., Михайлов А. С.* Вращающиеся спиральные волны в простой модели возбудимой среды // Докл. АН СССР. — 1986. — Т. 286, № 2. — С. 341–344.
- Кузнецов О. П.* Модели процессов распространения активности в сетевых структурах // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, 16–19 июня 2014 г.: ТРУДЫ. — М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, 2014. — С. 3897–3907.
- Klimek P., Bayer W., Thurner S.* The blogosphere as an excitable social medium: Richter's and Omori's Law in media coverage // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. — 2011. — Vol. 390, No. 21–22. — P. 3870–3875.
- Mikhailov A. S.* Foundations of Synergetics I: Distributed active systems. Springer series in synergetics. — Springer, 1990.
- Myers S. A., Zhu C., Leskovec J.* Information Diffusion and External Influence in Networks // Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. — KDD '12. — New York, NY, USA: ACM, 2012. — P. 33–41.
- Rosenblueth A.* Mechanism of the Wenckebach-Luciani Cycles // American Journal of Physiology. — 1958. — Vol. 194, No. 3. — P. 491–494.
- Wiener N., Rosenblueth A.* The mathematical formulation of the problem of conduction of impulses in a network of connected excitable elements, specifically in cardiac muscle // Archivos del Instituto de Cardiología de México. — 1946. — Jul. — Vol. 16, No. 3. — P. 205–265.