Модель самоорганизации в агентных системах с передачей сообщений

Ломакин Сергей Геннадьевич*

*Новосибирский государственный университет (Новосибирск), Россия

Аннотация

У идей есть огромный потенциал воздействия на общественное мнение. С появлением интернета объем передаваемой информации увеличился, вместе с ним увеличилась и доступность идей. Однако, изобилие получаемой информации превышает нашу потребительскую способность. Идеи должны конкурировать за наше ограниченное внимание. Исследование динамики соревнования идей крайне важно для многих областей.

Надо отметить, что в динамике распространения информации наблюдаются идеи, которые распространяются с огромной скоростью. Это может быть вызвано агентами, которые обращают внимание общественности на ту или иную идею. Для изучения этого и других факторов, строится модель, анализируя которою можно изучить роль ограниченного внимания пользователей на идею.

Внимание пользователя ограничено и за него надо соревноваться. Широта внимания остается постоянной независимо от разнообразия идей. Этот факт надо учитывать при составлении модели. Так же было отмечено, что пользователи более вероятно снова обратят свое внимание на ту идею, о которой они уже слышали в прошлом. Не следует забывать о том, что каждая идея имеет время жизни и если она долго не обращала на себя внимание, то вскоре будет забыта. Для моделирования этого процесса была выбрана двойная модель соглашения.

Рассматривается список узлов, которыет между собой могут обмениваться идеями. У каждого узла есть идеи, которыми он обменивается со своими соседями. В каждый момент времени случайно выбирается оратор, который озвучивает случайную идею из своего списка всем его слушателям. Изучив идею, слушатель меняет свой список идей. Также среди узлов есть агенты, которые влияя на мнение других пытаются обратить внимание на конкретную идею, которая изначально записана у него.

В данной работе мы показываем, как преобладающее мнение большинства может быть полностью изменено небольшой частью беспорядочно распределенных агентов, которые распространяют свое мнение и неуязвимы к влиянию других мнений. Также в ней показывается существование переломного момента, после которого сообщество принимает продвигаемую идею.

Введение

У идей есть огромный потенциал воздействия на общественное мнение. С появлением интернета объем передаваемой информации увеличился, вместе с ним увеличилась и доступность идей. Однако, изобилие получаемой информации превышает нашу потребительскую способность. Идеи должны конкурировать за наше ограниченное внимание. Исследование динамики соревнования идей крайне важно для многих областей.

Надо отметить, что в динамике распространения информации наблюдаются идеи, которые распространяются с огромной скоростью. Это может быть вызвано агентами, которые обращают внимание общественности на ту или иную идею. Для изучения этого и других факторов, строится модель, анализируя которою можно изучить роль ограниченного внимания пользователей на идею.

Двойная модель соглашения.

Как говорилось ранее, внимание пользователя ограничено и за него надо соревноваться. Широта внимания остается постоянной независимо от разнообразия идей. Этот факт надо учитывать при составлении модели. Так же было отмечено, что пользователи более вероятно снова обратят свое внимание на ту идею, о которой они уже слышали в прошлом. Не следует забывать о том, что каждая идея имеет время жизни и если она долго не обращала на себя внимание, то вскоре будет забыта.

Из обширного репертуара моделей в статистической физике и математической социологии, остановимся на двойной модели соглашения. Двойная модель соглашения хорошо подходит для понимания процесса поведения людей и как оно изменяется при их взаимодействии в различных ситуациях.

Пусть у каждого человека существует список, в который он записывает свои идеи. В каждый момент времени случайно выбирается оратор, который озвучивает случайную идею из своего списка всем его слушателям. Если у слушателя есть эта идея в списке, то он вычеркивает остальные идеи, иначе добавляет ее к себе в список.

Также добавим в модель агентов, которые влияя на мнение других пытаются обратить внимание на конкретную идею, которая изначально записана у него. В случае когда оратором выбирается агент ничего не меняется. Однако, если в качестве слушателя выбирается агент, он игнорирует любую идею которая к нему придет и не меняет свой список. Получается что у агента в списке будет всегда только одна идея на которую он пытается обратить внимание.

В дальнейшем для удобства будем рассматривать двойную модель оглашения, в которой присутствуют только две идеи — A и B. Рассмотрим таблицу, в которой отображено возможное изменение при передаче идеи.

Оратор	Мнение	Слушатель	Результат
a	a	a	a
a	a	b	ab
a	a	p	p
a	a	ab	a
p	a	a	a
p	a	b	ab
p	a	p	p
p	a	ab	a
b	b	a	ab
b	b	b	b
b	b	p	p
b	b	ab	b
ab	a	a	a
ab	a	b	ab
ab	a	p	p
ab	a	ab	a
ab	b	a	ab
ab	b	b	b
ab	b	p	p
ab	b	ab	b

Анализ двойной модели соглашения.

Рассмотрим k-связный граф, где каждая вершина является пользователем. Пусть граф имеет N вершин. Определим плотность вершин с идеей A через nA, B через nB и плотность агентов через p. Тогда плотность узлов со смешанными идеями можно выразить как: 1 − p − nA − nB. Запишем систему уравнений изменения плотности узлов в состоянии A и B.

$$\begin{cases} \frac{dnA}{dt} = \frac{k}{N}(-nAnB + 0.5 * nAnAB + 0.5 * nABnAB + pnAB) \\ \frac{dnB}{dt} = \frac{k}{N}(-nAnB + 0.5 * nBnAB + 0.5 * nABnAB - pnB) \end{cases}$$

У этой системы уравнений существуют особые точки, в которых достигается равновесие (см. Приложение). Одной из них является точка при nA = 1−p и nB = 0 — вырожденный случай, когда идея охватила все сообщество. Также имеются две точки при p меньшей pc: одна из них седловая, другая устойчивая, где nA, nB и nAB отличны от нуля.

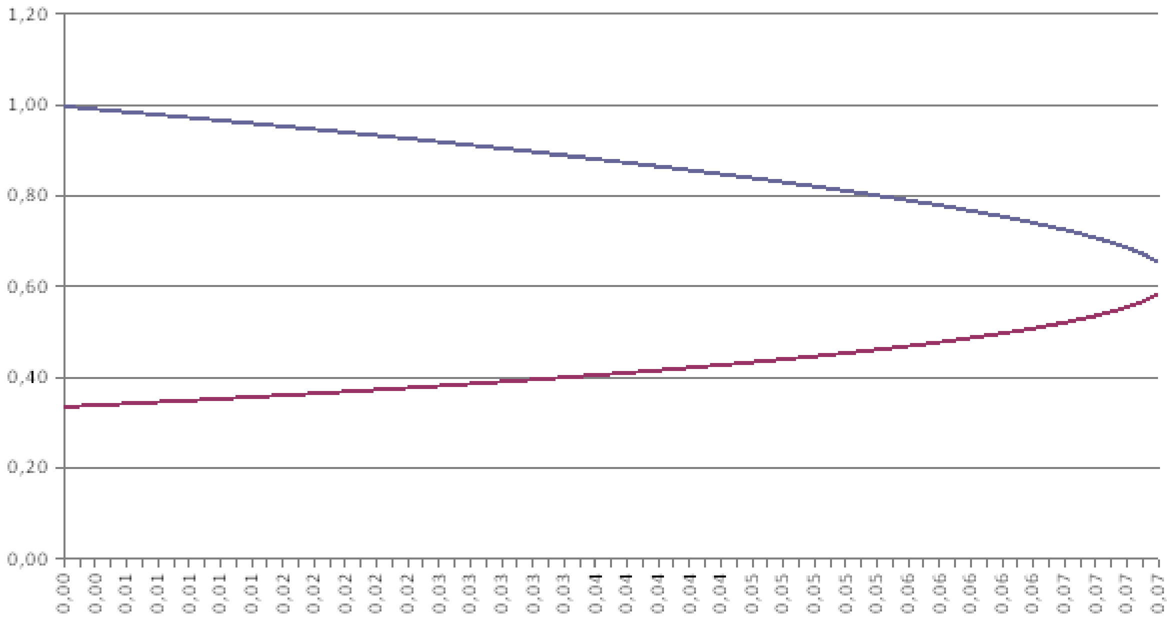

Рис. 1

На рис. 1 видна зависимость плотности узлов с мнением B от плотности агентов. При увеличении p до pc устойчивое состояние исчезает. Для p меньше pc существует две особые точки. Первая из них, седловая, является неустойчивой и малейшее колебание выводит систему из состояния устойчивости. В устойчивой точке тоже возможен переход состояния, но для него колебания должны быть более сильными.

На основании этой модели была написана программа, моделирующая процесс соревнования идей результаты которой совпадают с результатами полученными аналитически. На рис. 2 можно наблюдать процесс соревнования идей для начальный данных nA = 0.2, nB = 0.5, nAB = 0.2, p = 0.1.

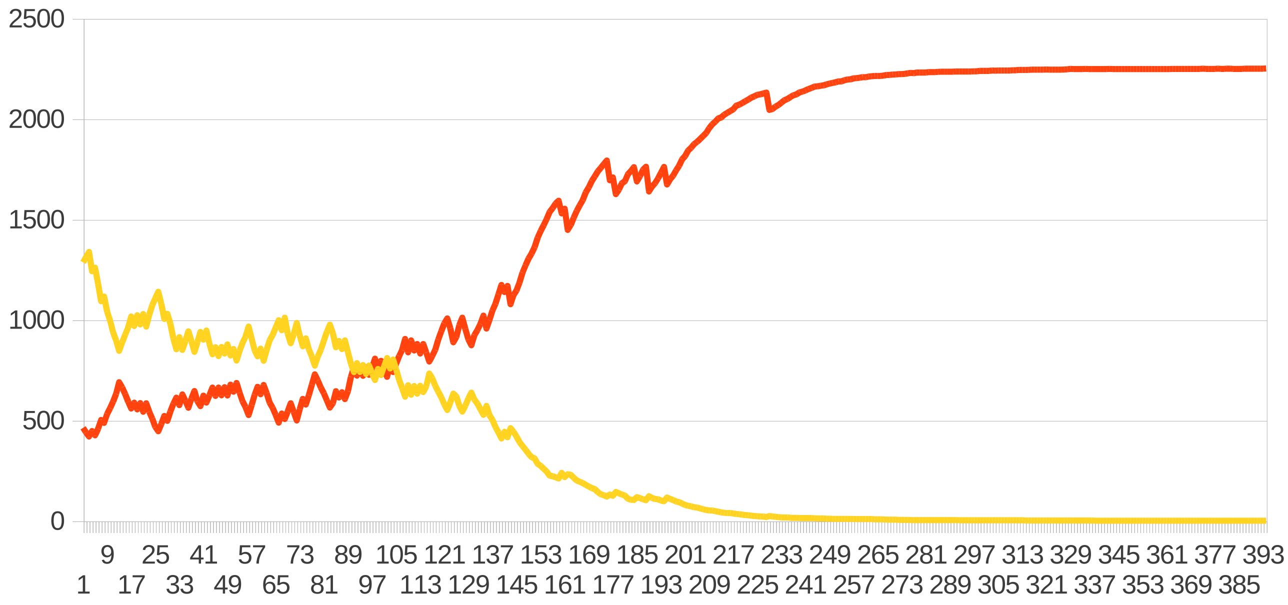

Рис. 2

Фактор новизны идеи.

Теперь учтем в нашей модели фактор новизны идеи. Как было сказано ранее, идеям свойственно устаревать и исчезать из области нашего внимания. Введем параметр T, который показывает время жизни идеи. То есть, если какой-то узел не получал о идеи никакой информации в течении времени T, то она удаляется из списка идей. Рассмотрим вместо графа сетку размерами M * N, где каждый узел является пользователем. В данной модели оратора может услышать каждый слушатель с вероятностью обратно пропорциональной расстоянию между ними. Для анализа рассмотрим когда у нас есть только идея A. Запишем уравнения изменения плотности A.

$$\begin{cases} 1 = nA + nO + p \\ \frac{dnA}{dt} = \frac{k}{MN} nO - \frac{k}{MN} * (1 - p) * (1 - \frac{k}{MN})^T \end{cases}$$

где nO — плотность узлов без идей, k — сумма вероятностей узлов услышать оратора. Здесь есть одна точка, при которой достигается состояние равновесия (см. Приложение). При моделировании данных процессов были обнаружены результаты, которые отображены на рис. 3. Красными точками отмечены узлы с идеей A, белыми точками – агенты. Можно заметить что узлы с одной идеей группируются в группы, а не равномерно распределены по всему пространству.

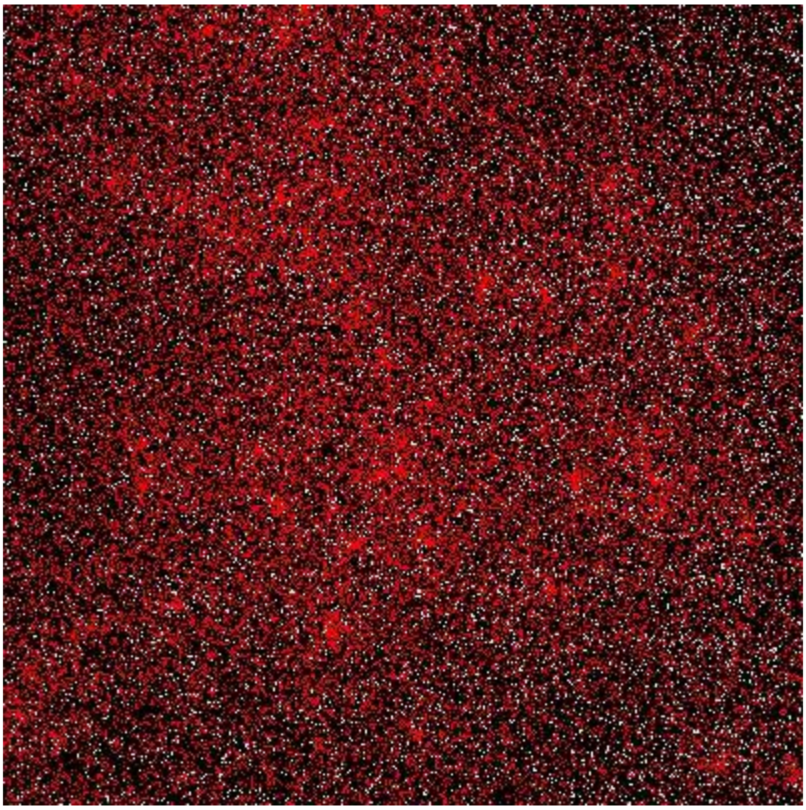

Рис. 3

Заключение.

В данной работе мы продемонстрировали существование переломного момента, после которого сообщество принимает продвигаемую идею. Есть несколько исторических случаев, когда при превышении некоторой отметки нонконформистов в населении, его мнение менялось. Такие процессы получили внимание в социологической литературе. Также мы продемонстрировали распространение идей в обществе в условиях забывания идей. При использовании этих моделей, можно изучить процесс соревнования идей более подробно и ответить на ряд интересующих вопросов. Например, какое минимальное число агентов надо иметь и как их расположить, чтобы мнение овладело всем сообществом.

Приложение.

1. Анализ двойной модели соглашения

Рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} 1 = nA + nB + nAB + p \\ \dfrac{dnA}{dt} = \dfrac{k}{N}(-nAnB + 0.5 * nAnAB + 0.5 * nABnAB + pnAB) \\ \dfrac{dnB}{dt} = \dfrac{k}{N}(-nAnB + 0.5 * nBnAB + 0.5 * nABnAB - pnB) \end{cases}$$

Для нахождения точек устойчивости, выразим из первого уравнения nAB, подставим в остальные и приравняем их к нулю:

$$\begin{cases} (1 - nA - nB - p) * (0.5 * nA + 0.5 * (1 - nA - nB - p) + p) - nAnB = 0 \\ (1 - nA - nB - p) * (0.5 * nB + 0.5 * (1 - nA - nB - p)) - nAnB - pnB = 0 \end{cases}$$

Для удобства умножим левые и правые части на 2:

$$\begin{cases} (1 - nA - nB - p) * (1 - nB + p) - 2 * nAnB = 0 \\ (1 - nA - nB - p) * (1 - nA - p) - 2 * nAnB - 2 * pnB = 0 \end{cases}$$

Раскроем скобки и получим:

$$\begin{cases} 1 - nA - 2 * nB + nB^2 - pnA - p^2 - nAnB = 0 \\ 1 - 2 * nA - nB - 2 * p + nA^2 + 2 * pnA + p^2 - nAnB - pnB = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} nA * (1 + nB + p) = 1 - 2 * nB + nB^2 - p^2 \\ nB * (1 + nA + p) = (1 - nA - p)^2 \end{cases}$$

Выразим из первого уравнения nA и подставим во второе:

$$nA = \frac{1 - 2 * nB + nB^2 - p^2}{1 + nB + p}$$

$$nB * \left(1 + \frac{1 - 2 * nB + nB^2 - p^2}{1 + nB + p} + p\right) = \left(1 - \frac{1 - 2 * nB + nB^2 - p^2}{1 + nB + p} - p\right)^2$$

$$nB * (1 + nB + p)\left((1 + p) * (1 + nB + p) + (1 - 2 * nB + nB^2 - p^2)\right) = \left((1 - p) * (1 + nB + p) - (1 - 2 * nB + nB^2 - p^2)\right)^2$$

$$nB * (1 + nB + p)(2 - nB + 2 * p + pnB + nB^2) = (nB^2 - 3 * nB + pnB)^2$$

Здесь nB = 0 — тривиальное решение. Если nB ≠ 0, то поделим на него левую и правую части уравнения:

$$(1 + nB + p)(2 - nB + 2 * p + pnB + nB^2) = nB * (nB - 3 + p)^2$$

После раскрытия скорбок и приведения подобных получим:

$$3 * nB^2 - nB * (4 - 4 * p) + (1 + p)^2 = 0$$

$$nB = \frac{2 - 2 * p \pm \sqrt{p^2 - 14 * p + 1}}{3}$$

Рассмотрим дискриминант подробнее и найдем значения p при которых он положителен.

$$p^2 - 14 * p + 1 = 0$$

$$p = 7 \pm \sqrt{48}$$

Так как p по условию принадлежит отрезку [0, 1], то при $p > 7 - \sqrt{48}$ дискриминант меньше нуля. Обозначим $pc = 7 - \sqrt{48} \approx 0.072$.

2. Фактор новизны идеи.

Рассмотрим систему уравнений:

$$\begin{cases} 1 = nA + nO + p \\ \frac{dnA}{dt} = \frac{k}{MN} nO - \frac{k}{MN} * (1 - p) * (1 - \frac{k}{MN})^T \end{cases}$$

Для нахождения точек устойчивости выразим nO из первого уравнения, подставим во второе и приравняем его к нулю:

$$\frac{k}{MN} nO - \frac{k}{MN} * (1 - p) * (1 - \frac{k}{MN})^T = 0$$

Подставим nO и сократим на $\frac{k}{MN}$:

$$(1 - nA - p) - (1 - p) * \left(1 - \frac{k}{MN}\right)^T = 0$$

$$nA = (1 - p) * \left(1 - \left(1 - \frac{k}{MN}\right)^T\right)$$

У нас есть единственная устойчивая точка. Линейно зависящая от p.