Управление большими системами
Специальный выпуск 30.1 «Сетевые модели в управлении»

УДК 519.83
ББК 22.18

МОДЕЛИ УНИФИЦИРОВАННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ОДНОРОДНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ[1]

Губанов Д. А.[2], Новиков Д. А.[3]
(*Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН, Москва*)

Рассматриваются модели унифицированного информационного управления в социальных сетях, описываемых регулярным графом взаимодействия их членов. Основной акцент делается на моделях учета зависимости доверия агента к сообщаемой информации от ее содержания.

Ключевые слова: социальная сеть, регулярный граф, информационное управление.

1. Введение

В работе [3] рассматриваются задачи описания информационного влияния и информационного управления в социальных сетях (см. обзор [4]), описываемых следующей *марковской моделью*. Пусть $N = \{1, 2, ..., n\}$ – множество *агентов*, входящих в *социальную сеть*. Агенты в сети влияют друг на друга, и степень *влияния* задается стохастической по строкам матрицей прямого влияния $A = \|a_{ij}\|$ размерности $n \times n$, где $a_{ij} \geq 0$ обознача-

---

[1] *Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 10-07-00104.*

[2] *Губанов Дмитрий Алексеевич, младший научный сотрудник (DimaGubanov@mail.ru).*

[3] *Дмитрий Александрович Новиков, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель директора (novikov@ipu.ru).*

ет степень *доверия* i-го агента j-му агенту (или, что будем считать эквивалентным, степень влияния j-го агента на i-го агента).

У каждого агента в начальный момент времени имеется *мнение* по некоторому вопросу. Мнение всех агентов сети отражает вектор-столбец $x^0 \in \Re^n$ начальных мнений. Будем считать, что в результате обмена мнениями со своими «соседями» из множества $N_i = \{j \in N \mid a_{ij} > 0\}$ мнение i-го агента $x_i^\tau \in \Re^1$ в момент времени k равно

(1) $x_i^k = \sum_{j \in N_i} a_{ij} x_j^{k-1}$, $k = 1, 2, \ldots$

Понятно, что любой вектор одинаковых мнений является неподвижной точкой отображения (1). Предположим, что каждый агент хоть сколько-нибудь доверяет сам себе, т. е. $\forall\, i$: $a_{ii} > 0$. Тогда, как показано в [3], в конечном итоге (при многократном обмене мнениями) вектор мнений агентов сходится к результирующему (итоговому) вектору мнений $X = \lim_{k\to\infty} x^k$ (общие необходимые и/или достаточные условия сходимости – правильность цепи Маркова и др. – можно найти в [11]). Заметим, что именно в силу аналогий с цепями Маркова рассматриваемую модель влияния в социальной сети предлагается называть марковской. Если мнения агентов со временем стабилизируются, то можно записать соотношение

(2) $X = A^\infty x^0$,

где $A^\infty = \lim_{k\to\infty} (A)^k$.

В настоящей работе рассматривается модификация марковской модели в случае, когда агенты однородны, а структура связей между ними представляет собой связный регулярный граф. В отличие от модели (2) ниже считается, что, помимо агентов, входящих в социальную сеть, существуют *средства массовой информации* (СМИ), сообщения которых также влияют на мнения членов социальной сети.

С этой точки зрения рассматриваемая в настоящей работе модель близка к *модели подражательного поведения* (см. [1]), в которой каждый агент осуществляет выбор одного из двух действий (так называемый бинарный выбор). Каждый агент характеризуется априорной вероятностью выбора того или иного действия и склонностью прислушиваться к мнению других агентов (какие действия планируют они выбрать). Сеть в целом характеризуется матрицей влияний. Апостериорная вероятность выбора агентом определенного действия вычисляется аналитически по формуле полной вероятности (фактически – в терминах марковских моделей – рассматриваются два момента времени), что дает возможность исследовать многочисленные хорошо интерпретируемые содержательно случаи принятия агентами решений под влиянием окружения (см. [1]). Отличие модели однородной социальной сети от модели подражательного поведения заключается в наличии динамики, а также в том, что множества возможных мнений агентов континуальны.

2. Однородная социальная сеть. «Доверчивые» агенты

Рассмотрим случай однородной сети, в которой начальные мнения всех агентов одинаковы и равны $x_0 \in \Re^1$, а граф связей между ними связный и l-регулярный (т.е. $|N_i| = l$, $i \in N$). Будем считать, что кроме агентов существуют СМИ, влияющие на мнения членов социальной сети. Каждый агент с некоторой (одинаковой для всех агентов) степенью $\alpha \in (0; 1]$ доверяет сам себе; с некоторой (тоже одинаковой для всех агентов) степенью $\beta \in [0; 1]$ ($\alpha + \beta \le 1$) он доверяет средствам массовой информации (можно условно считать, что через СМИ осуществляется информационное управление [9, 10] – агент получает от СМИ информацию якобы о мнениях тех агентов, с которыми не связан непосредственно), а «остаток доверия» $(1 - \alpha - \beta)$ агент делит поровну между теми агентами, с которыми непосредственно связан. СМИ сообщает всем агентам одинаковое мнение $u \in \Re^1$. Получаем, что динамика мнений агентов описывается следующим выражением:

$$(3)\quad x_i^k = \alpha\, x_i^{k-1} + \beta\, u + \frac{(1-\alpha-\beta)}{l} \sum_{j \in N_i} x_j^{k-1}, \qquad k = 1, 2, \ldots\quad,$$

причем, в силу однородности сети и регулярности графа связей, от его степени l (т. е., от числа связей каждого агента с другими агентами), а также от размера n социальной сети и от степени α доверия агента самому себе, выражение (3) не зависит (см. (4)). Отметим, что (3) имеет и вероятностную трактовку: агент с вероятностью α останется при своем мнении, с вероятностью β примет мнение СМИ и т.д.

Опуская в силу однородности сети индекс, соответствующий номеру агента, из (3) получим:

(4) $x^k = \beta\, u + (1 - \beta)\, x^{k-1}$, $k = 1, 2, \ldots$,

или

(5) $x^k = u\, \beta \sum_{\tau=1}^{k} (1-\beta)^{\tau-1} + x_0\, (1 - \beta)^k$, $k = 1, 2, \ldots$.

Преобразовывая (5), можно записать:

(6) $x^k = u\, (1 - (1 - \beta)^k) + x^0\, (1 - \beta)^k$, $k = 1, 2, \ldots$.

Для любого момента времени мнения агентов не выходят за диапазон, ограниченный их начальным мнением x^0 и управлением u. Предел последовательности (6) мнений агентов при $k \to +\infty$ равен значению управления u.

Отметим, что «экспоненциальная» кривая (6) может интерпретироваться в терминах научения, запоминания и забывания информации и т.д. (см. обзор моделей научения в [7]).

Управление, при котором управляющее воздействие в любой момент времени планового горизонта одинаково для всех агентов влияния, называется *унифицированным информационным управлением*. В рассматриваемой модели управление является постоянным (не зависящим от времени) и унифицированным (см. выражение (3)). Задача управления заключается в нахождении управления $u(x^*, x^0, T)$, которое при известных начальных мнениях агентов в заданный момент времени T приводит агентов к требуемому мнению x^*. Если ограничения на управление отсутствуют, то эта задача решается тривиально посредством алгебраических преобразований выражения (6):

(7) $u(x^*, x^0, T) = \dfrac{x^* - x^0(1-\beta)^T}{1-(1-\beta)^T}$.

При $T \to +\infty$ управление (7) стремится к итоговому мнению x^*.

Пример 1. Пусть $\beta = 1/2$, $x_0 = 0$, $u = 1$. График динамики (6) мнений агентов приведен на рис. 1.

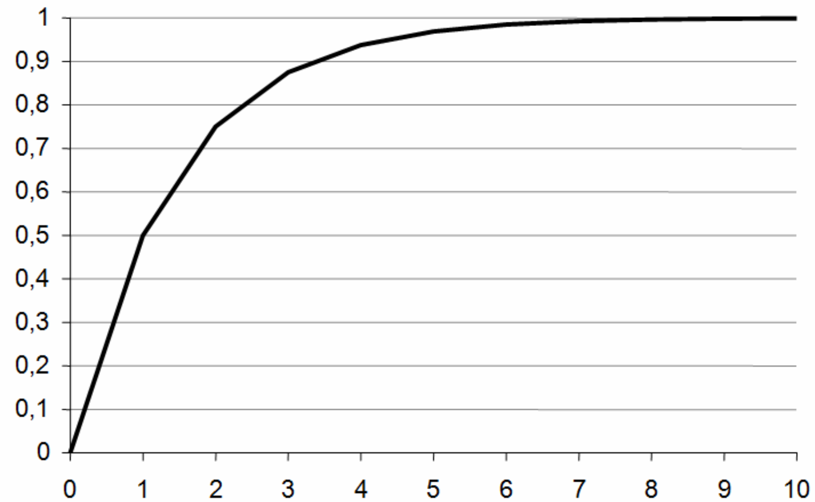

Рис. 1. Динамика мнений агентов в примере 1

Для того чтобы добиться в десятом периоде ($T = 10$) мнения $x^* = 1$, управление, в соответствии с выражением (7), должно равняться $u(1, 0, 10) = 1024/1023$. •[4]

Отметим, что, сделав предположения об однородности агентов и регулярности графа связей между ними, мы, фактически, **свели всю однородную регулярную социальную сеть к единственному агенту, подвергающемуся влиянию СМИ** (см. выражение (6)). Для того чтобы такие параметры, как степень доверия агента своему собственному мнению, размер сети и степень регулярного графа влияли на динамику мнений агентов, необходимо использовать отличные от выражения (3) законы изменения мнений агентов под влиянием друг друга и СМИ.

Рассмотрим следующий (один из множества возможных – в каждом конкретном случае необходимо, в первую очередь, руководствоваться содержательной спецификой рассматривае-

[4] *Символ «•» здесь и далее обозначает окончание примера.*

мой задачи) вариант такого закона. Предположим, что динамика мнений агентов описывается следующим выражением (ср. с выражением (3)):

$$(8)\quad x_i^k = \alpha\, x_i^{k-1} + \beta\, \frac{(n-l)}{n}\, u + \frac{(1-\alpha-\beta(n-l)/n)}{l} \sum_{j\in N_i} x_j^{k-1}\,,$$

$k = 1, 2, \ldots$.

Содержательно выражение (8) означает, что СМИ якобы отражает мнение той части социальной сети, которая не взаимодействует с данным агентом (доля таких агентов составляет $(n - l) / n$; данное отношение можно условно интерпретировать как «*вес общественного мнения*»).

Опуская в силу однородности сети индекс, соответствующий номеру агента, из (8) получим:

$$(9)\quad x^k = \beta\, \frac{(n-l)}{n}\, u + (1 - \beta\, \frac{(n-l)}{n})\, x^{k-1},\ k = 1, 2, \ldots ,$$

или

$$(10)\ x^k = u\, \beta\, \frac{(n-l)}{n} \sum_{\tau=1}^{k} (1-\beta \frac{(n-l)}{n})^{\tau-1} + x_0\, (1 - \beta\, \frac{(n-l)}{n})^k,$$

$k = 1, 2, \ldots$.

Преобразовывая (10), получим (ср. с выражением (6):

$$(11)\ x^k = u\ (1 - (1 - \beta\, \frac{(n-l)}{n})^k) + x^0(1 - \beta\, \frac{(n-l)}{n})^k,\ k = 1, 2, \ldots .$$

Отметим, что на динамику (11) мнений агентов в рамках рассматриваемой модели влияет не абсолютное число связей у каждого агента с другими (степень l графа), а относительный показатель $(n - l) / n$. Кроме того, величина u является значением предела выражения (11) при $k \to +\infty$.

«Предельными» случаями выражения (11) являются следующие:

– при $l = n$, т. е. когда граф связей – полный, тогда $x^k = x^0$, т. е. влияние СМИ отсутствует, так как каждый агент получает всю информацию только от членов социальной сети;

– при $l = 0$, т. е. когда связи между агентами отсутствуют, тогда влияние СМИ максимально и динамика мнений агентов будет описываться выражением (6).

Аналогом выражения (7) в рассматриваемом случае будет

$$(12)\ u(x^*, x^0, T) = \frac{x^* - x^0 (1 - \beta \frac{(n-l)}{n})^T}{1 - (1 - \beta \frac{(n-l)}{n})^T}.$$

Пример 2. Рассмотрим в условиях примера 1 два графа связей между агентами. В первом графе $l / n = 0{,}1$, т. е. каждый агент связан только с каждым десятым членом социальной сети, во втором графе $l / n = 0{,}01$, т. е. каждый агент связан только с каждым сотым членом социальной сети. Графики динамики (11) мнений агентов приведены на рис. 2 (случай, соответствующий первому графу, выделен жирной линией). Для наглядности на рис. 2 пунктирной линией приведена кривая динамики мнений в примере 1.

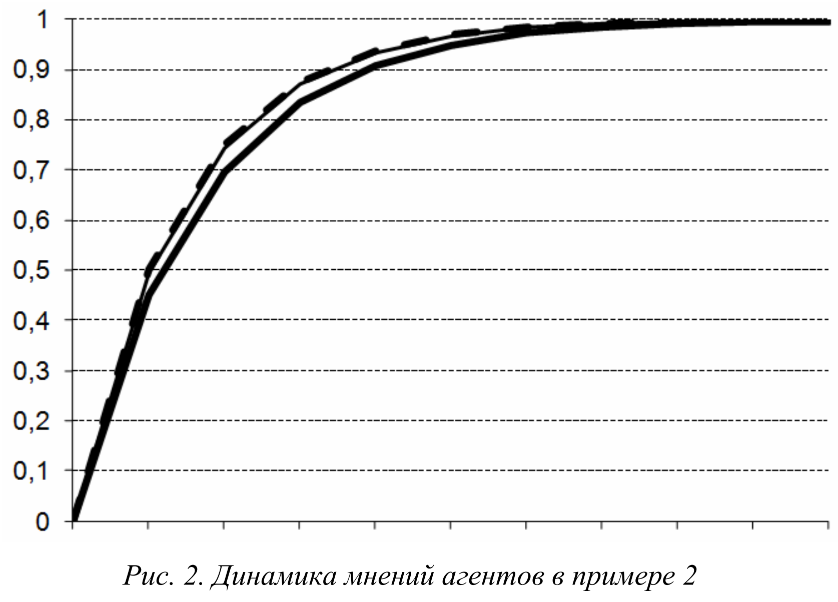

Рис. 2. Динамика мнений агентов в примере 2

Из выражения (11) следует (см. в качестве иллюстрации рис. 2), что при фиксированном размере социальной сети рост числа связей агента с другими агентами приводит к уменьшению влияния СМИ (как в терминах скорости изменений мнений агентов, так и в терминах «равновесного» мнения). И, наоборот, при фиксированной степени графа с ростом размера социальной сети влияние СМИ возрастает.

Если $l / n = 0{,}1$, то для того чтобы добиться в десятом периоде мнения $x^* = 1$, управление, в соответствии с выражением (12), должно равняться $u(1, 0, 10) \approx 1{,}003$. Если $l / n = 0{,}01$, то $u(1, 0, 10) \approx 1{,}001$, т. е., чем выше вес общественного мнения, тем меньше должно отличаться от мнения агента сообщение СМИ, обеспечивающее формирование требуемых мнений. •

В рассмотренной модели степень доверия агента сообщениям СМИ была постоянной и не зависела от того, насколько сообщения СМИ совпадают с мнением агента или ему противоречат. Условно такой случай соответствует «*доверчивым*» *агентам*. Рассмотрим другой вариант – «*осторожных*» *агентов*, доверие которых к сообщениям СМИ, условно говоря, зависит от содержания этих сообщений.

3. «Осторожные» агенты

Для того чтобы отразить зависимость степени доверия агента сообщениям СМИ от их содержания (см. также обзор моделей доверия/репутации в [2], а также многочисленные примеры и экспериментальные данные в литературе по социальной психологии – например, в [7]), введем описывающую эту зависимость *функцию доверия* $G(x, u)$, где x – мнение агента, u – управление (сообщение СМИ). Относительно свойств функции доверия можно предполагать следующее (далее мы будем пользоваться теми или иными комбинациями вводимых предположений).

А.1. Функция $G(x, u)$ принимает неотрицательные значения и достигает своего максимального значения, равного β, при $u = x$: $G(x, x) = \beta$.

А.2. Функция $G(x, u)$ принимает неотрицательные значения и достигает своего минимального значения, равного β, при $u = x$: $G(x, x) = \beta$.

А.3. Функция $G(x, u)$ зависит только от разности $(x - u)$.

А.4. Функция $G(x, u)$ монотонно убывает с ростом $|x - u|$.

А.5. Функция $G(x, u)$ монотонно возрастает с ростом $|x - u|$.

А.6. Пусть выполнены предположения А.1, А.3 и $\forall\, x \in \Re^1$ $\lim\limits_{u \to -\infty} G(x,u) = \beta_-$, $\lim\limits_{u \to +\infty} G(x,u) = \beta_+$, $\beta_- \le \beta$, $\beta_+ \le \beta$, а на полуинтервалах $(-\infty; x]$ и $[x; +\infty)$ значений u функция $G(x, u)$ имеет единственные точки минимума.

А.7. Пусть выполнены предположения А.2, А.3 и $\forall\, x \in \Re^1$ $\lim\limits_{u \to -\infty} G(x,u) = \beta_-$, $\lim\limits_{u \to +\infty} G(x,u) = \beta_+$, $\beta \le \beta_-$, $\beta \le \beta_+$, а на полуинтервалах $(-\infty; x]$ и $[x; +\infty)$ значений u функция $G(x, u)$ имеет единственные точки максимума.

Содержательно предположение А.1 (А.2) означает, что агент максимально (минимально) доверяет СМИ, сообщающим информацию, совпадающую с его мнением. Предположение А.3 означает, что доверие к сообщению СМИ зависит только от того, насколько оно отличается от мнения агента и не зависит от их значений. Предположение А.4 (А.5) означает, что доверие к сообщению СМИ тем выше (ниже), чем оно ближе к мнению агента. Примерами являются соответственно:

(13) $G(x, u) = \beta \exp(-\gamma |x - u|)$, $\gamma > 0$

и

(14) $G(x, u) = 1 - (1 - \beta) \exp(-\gamma |x - u|)$, $\gamma > 0$.

Предположение А.6 означает, что:

– агент максимально доверяет СМИ, сообщающим информацию, совпадающую с его мнением (А.1);

– при сообщениях СМИ, все более отличающихся от его мнения, агент им все менее доверяет;

– но при «экстремальных» мнениях СМИ агент начинает все больше доверять СМИ («чем чудовищнее ложь, тем быстрее в неё поверят»).

Примером при $\beta_- = \beta_+ = \beta$ является функция

(15) $G(x, u) = \beta\,[1 - (1 - \exp(-\gamma |x - u|)) \exp(-\gamma |x - u|)]$.

Предположение А.7 означает, что:

– агент минимально доверяет СМИ, сообщающим информацию, совпадающую с его мнением (А.2);

– при сообщениях СМИ, все более отличающихся от его мнения, агент им все больше доверяет;

– но при «экстремальных» мнениях СМИ агент начинает все меньше доверять СМИ (люди восприимчивы к выводам, не превышающим их порога приемлемого).

Примером при $\beta_- = \beta_+ = \beta$ является функция

(16) $G(x, u) = (1 - \beta) \exp(- \gamma |x - u|)) \exp(- \gamma |x - u|) + \beta$.

Эскизы графиков функций доверия (13), (14), (15) и (16) приведены на рис. 4 ниже.

Итак, можно условно выделить пять случаев – в качестве функций доверия можно использовать функцию, тождественно равную β – случай 1, (13) – случай 2, (14) – случай 3, (15) – случай 4 или (16) – случай 5. Содержательные интерпретации в рамках вероятностной трактовки (когда значение функции доверия интерпретируется, например, как вероятность выделить/заметить данное сообщение из общего потока сообщений) следующие.

Случай 1 (функция доверия – константа) – агент независимо от содержания реагирует на сообщение СМИ.

Случай 2 (функция доверия описывается выражением типа (13)) соответствует агенту-консерватору, у которого вероятность выделить сообщение будет уменьшаться с возрастанием отклонения его мнения от мнения СМИ.

Случай 3 (функция доверия описывается выражением типа (14)) соответствует агенту-новатору, у которого вероятность выделить сообщение будет возрастать с ростом отклонения его мнения от мнения СМИ.

Случай 4 (функция доверия описывается выражением типа (15)) соответствует агенту – умеренному консерватору, который выделяет и воспринимает информацию СМИ, совпадающую с его мнением, до тех пор, пока различие во мнениях не станет достаточно велико. Но при очень больших отклонениях вероятность того, что агент заметит такую информацию, растет.

Случай 5 (функция доверия описывается выражением типа (16)) соответствует агенту – умеренному новатору, у которого, пока отличие его мнения от мнения СМИ не слишком велико, вероятность выделить сообщение СМИ только возрастает, но при достаточно больших отклонениях, эта вероятность начинает уменьшаться.

Завершив содержательные интерпретации введенных случаев функций доверия, предположим, что управление не обязательно постоянно во времени.

Обозначим: $u^{0,T-1} = (u^0, u^1, \ldots, u^{T-1}) \in \Re^T$ – последовательность управлений, $x^{0,T} = (x^0, x^1, \ldots, x^T) \in \Re^{T+1}$ – траекторию состояний социальной сети, $T \geq 0$, $F(x^{0,T}, u^{0,T-1})$ – критерий эффективности управления, где $F(\cdot, \cdot): \Re^{(T+1)\ T} \to \Re^1$ – заданная функция. Ограничения на управления пока рассматривать не будем, считая, что, если таковые существуют, то они учтены в критерии эффективности.

По аналогии с выражением (4), управляемая динамика состояний социальной сети будет описываться выражением

(17) $x^k = G(x^{k-1}, u^{k-1})\, u^{k-1} + (1 - G(x^{k-1}, u^{k-1}))\, x^{k-1}$, $k = 1, 2, \ldots$.

Сделав маленькое отступление, отметим, что перспективным направлением будущих исследований представляется анализ следующей динамики мнений агентов в неоднородной и нерегулярной (в общем случае) социальной сети:

$$(17')\ x_i^k = a_{ii}\ x_i^{k-1} + \beta\, G_i(x_i^{k-1}, u^{k-1})\, u^{k-1} + \\ + \sum_{j \in N_i} a_{ij} G_i(x_i^{k-1}, x_j^{k-1}) x_j^{k-1},\ k = 1, 2, \ldots,$$

где индивидуальные функции доверия $\{G_i(\cdot)\}_{i \in N}$ таковы, что выполняется условие нормировки. В рамках такой модели можно условно содержательно считать, что матрица A отражает доверие агентов источникам информации, а функции доверия отражают доверие агентов содержанию информации.

В общем виде *задача синтеза оптимального информационного управления* в однородной социальной сети может быть сформулирована как задача поиска такой последовательности управлений динамической системой (17), которая максимизирует критерий эффективности:

$$(18)\ F(x^{0,T}, u^{0,T-1}) \to \max_{u^{0,T-1} \in \Re^T}$$

Задача (18) является задачей оптимального управления и может быть решена известными методами (см. пример 3 ниже), например, при аддитивном по периодам времени критерии эффективности – применением принципа оптимальности Беллмана.

Если управление постоянно, то выражение (17) примет вид

(19) $x^k = G(x^{k-1}, u)\, u + (1 - G(x^{k-1}, u))\, x^{k-1}$, $k = 1, 2, \dots$,

а задача (18) может быть записана как

(20) $F_0(x^{0,T}, u) \to \max\limits_{u \in \Re^1}$,

т. е. является задачей безусловной скалярной оптимизации, где $F_0(\cdot, \cdot): \Re^{T+1} \to \Re^1$ – заданный критерий эффективности в задаче с постоянным управлением.

Частным случаем задачи (18) является следующая постановка: пусть фиксирован вектор x^*, являющийся «целью» информационного управления и заданы затраты $C(u^{0,T-1}): \Re^T \to \Re^1$ на управление, а также ограничение $R \geq 0$ на эти затраты. Тогда задача (18) может быть записана в виде:

$$(21)\quad \begin{cases} \| x^T - x^* \| \to \min\limits_{u^{1,T}}, \\ C(u^{0,T-1}) \leq R. \end{cases}$$

Приведем пример решения задач синтеза оптимального информационного управления, иллюстрирующий зависимость оптимального решения от свойств функции доверия.

<u>Пример 3.</u> Рассмотрим задачу (21). Пусть $\beta = 0{,}5$, $\gamma = 0{,}1$, $x_0 = 0$, $x^* = 1$, $T = 10$, $C(u^{0,T-1}) = \sum_{\tau=0}^{T-1} u^\tau$, $R = 5$, и в целевой функции задачи (21) используется квадратичная норма. Соответствующие выделенным выше пяти случаям функции доверия изображены на рис. 3 (по горизонтали отложен $|x - u|$).

Из рис. 3 видно, что при малых значениях параметра γ функции доверия в рассматриваемом примере ведут себя почти линейно, а (13) и (15) ((14) и (16)) вообще слабо различимы. С ростом γ они начинают все больше различаться – на рис. 4 приведены графики функций доверия при $\gamma = 3$.

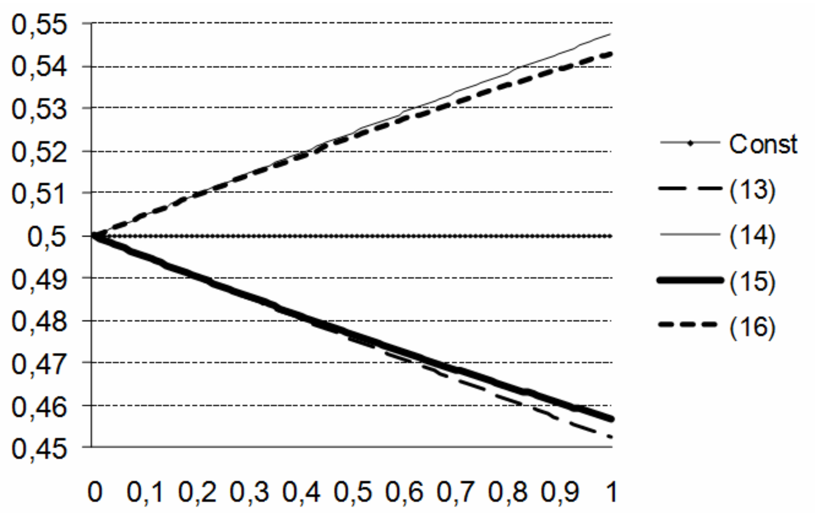

Рис. 3. Значения функций доверия в примере 3 ($\gamma = 0,1$)

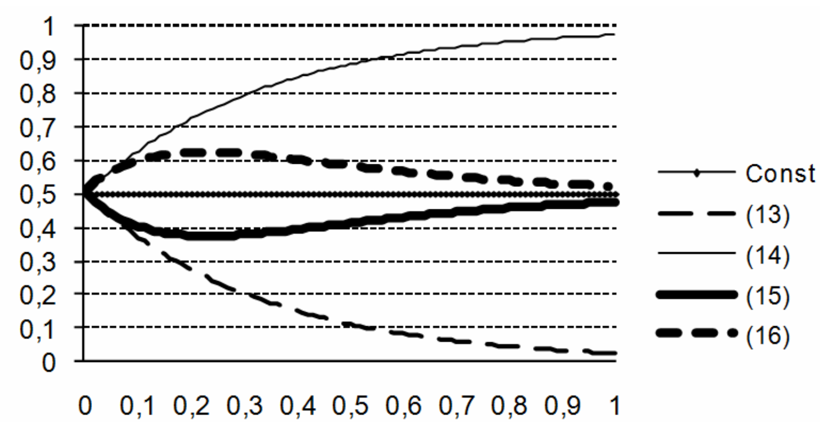

Рис. 4. Значения функций доверия в примере 3 ($\gamma = 3$)

Постоянное управление во всех случаях равно 0,5.

На рис. 5 и 6 приведены графики динамики мнений для функций доверия (13), (14), (15) или (16) при оптимальном постоянном управлении и значениях параметра γ равном 0,1 и 3 соответственно. Ограничение на управление не позволяет добиться того, чтобы мнения агентов стали достаточно близкими к целевому значению $x^* = 1$.

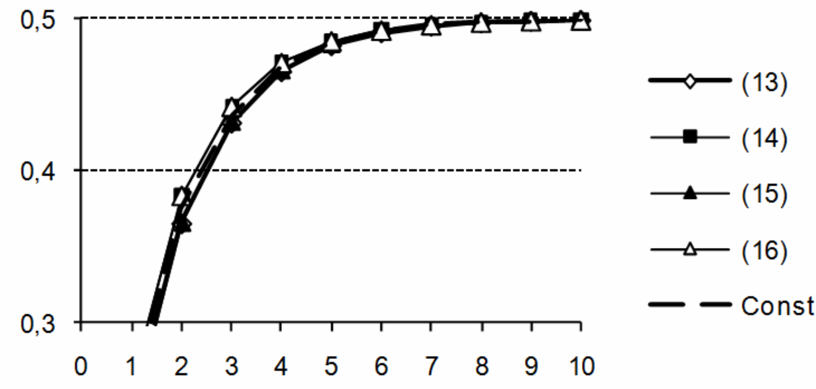

Рис. 5. Динамика мнений при оптимальном постоянном управлении в примере 3 ($\gamma = 0,1$)

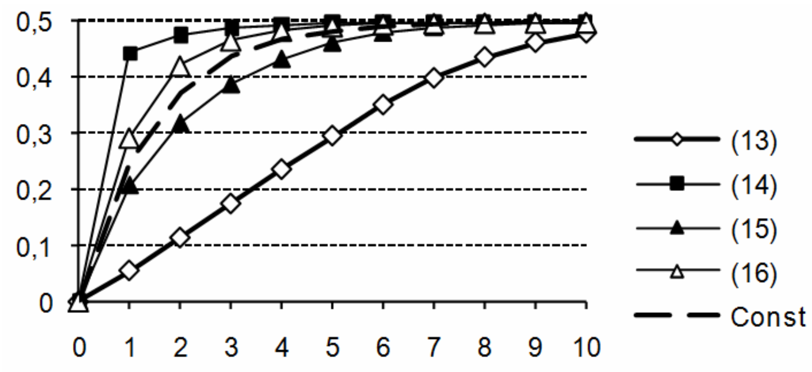

Рис. 6. Динамика мнений при оптимальном постоянном управлении в примере 3 ($\gamma = 3$)

На рис. 7 и 8 приведены графики динамики доверия для функций доверия (13), (14), (15) или (16) при оптимальном постоянном управлении и значениях параметра γ равных 0,1 и 3 соответственно.

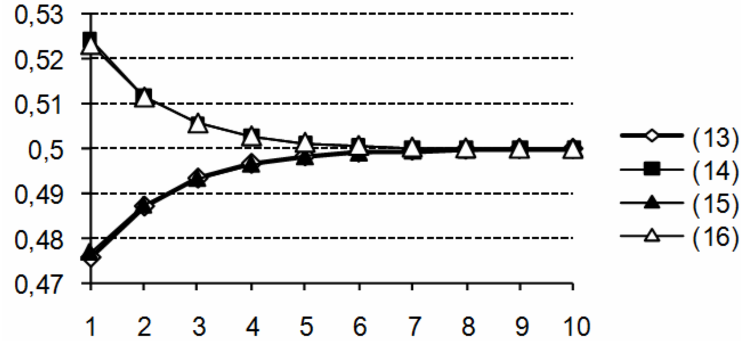

Рис. 7. Динамика доверия при оптимальном постоянном управлении в примере 3 ($\gamma = 0,1$)

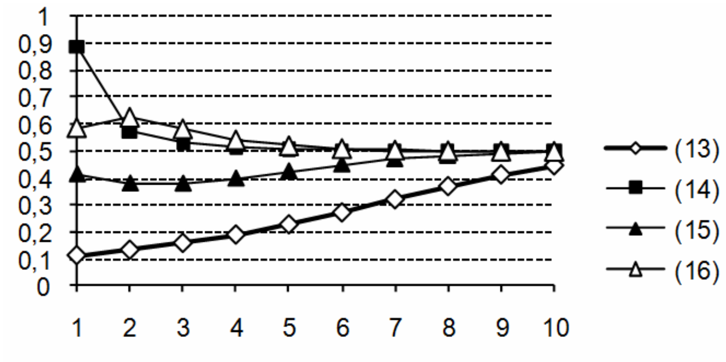

Рис. 8. Динамика доверия при оптимальном постоянном управлении в примере 3 ($\gamma = 3$)

Рассмотрим теперь более сложный случай – переменное управление, т. е. решим для рассматриваемого примера частный случай задачи (18), а именно – задачу (17), (21), которая в данном случае является линейной дискретной задачей с квадратичным интегральным критерием на фиксированном промежутке времени.

На рис. 9 и 10 приведены графики динамики мнений для функций доверия (13), (14), (15) или (16) при оптимальном переменном управлении и значениях параметра γ равных 0,1 и 3 соответственно.

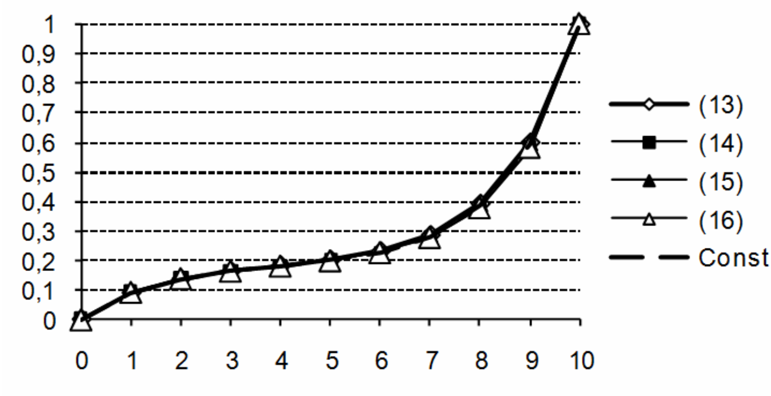

Рис. 9. Динамика мнений при оптимальном переменном управлении в примере 3 (γ = 0,1)

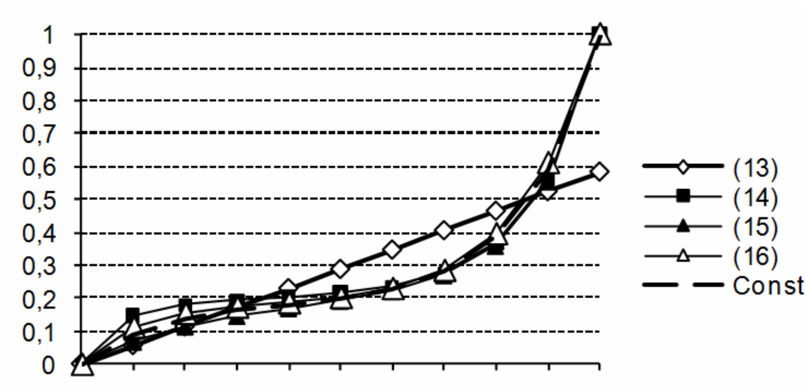

Рис. 10. Динамика мнений при оптимальном переменном управлении в примере 3 (γ = 3)

На рис. 11 и 12 приведены графики динамики доверия для функций доверия (13), (14), (15) или (16) при оптимальном переменном управлении и значениях параметра γ равных 0,1 и 3 соответственно.

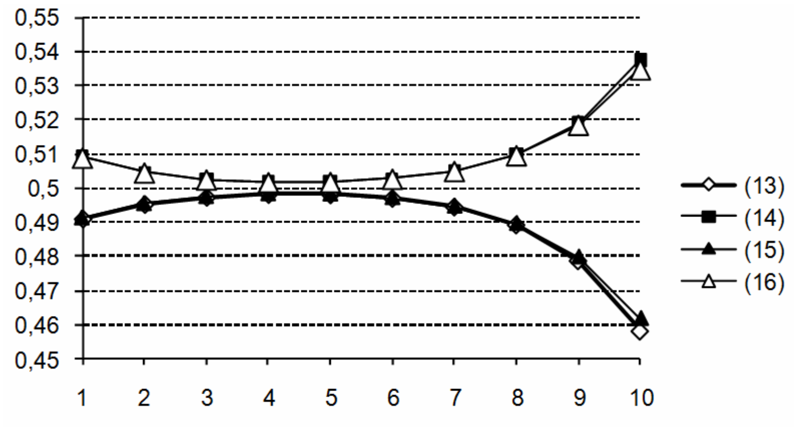

Рис. 11. Динамика доверия при оптимальном переменном управлении в примере 3 (γ = 0,1)

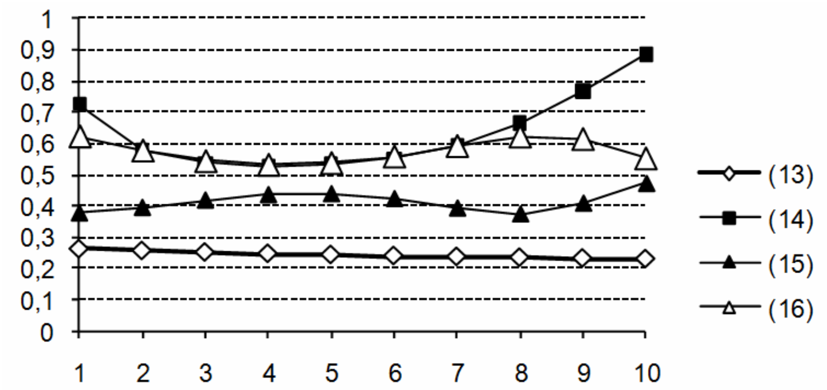

Рис. 12. Динамика доверия при оптимальном переменном управлении в примере 3 (γ = 3)

Графики оптимальных зависимостей управления от времени при значениях параметра γ равных 0,1 и 3 приведены соответственно на рис. 13 и 14.

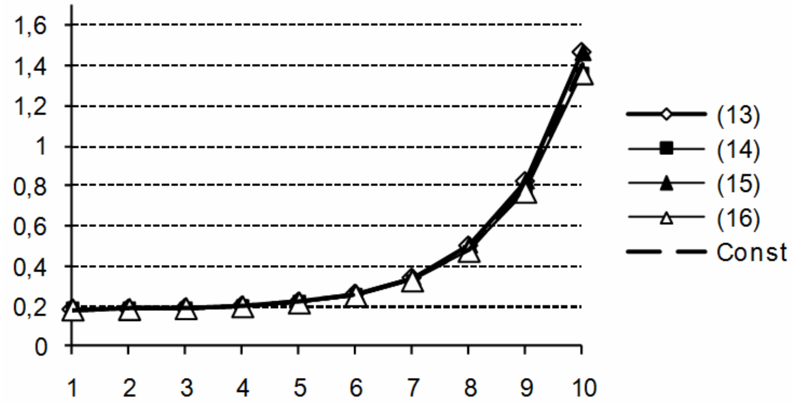

Рис. 13. Оптимальное переменное управление в примере 3 (γ = 0,1)

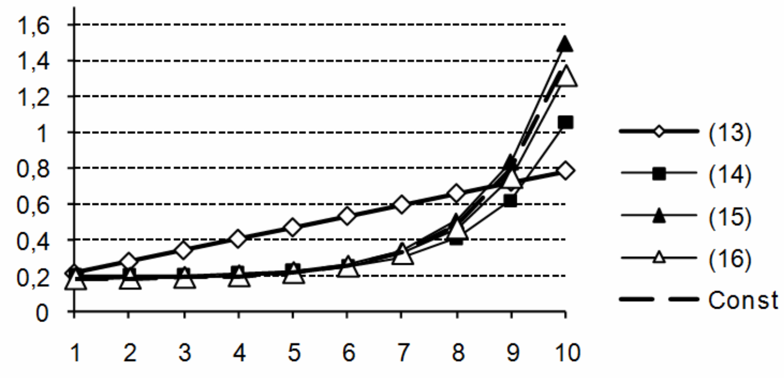

Рис. 14. Оптимальное переменное управление в примере 3 (γ = 3)

Значения критерия эффективности (напомним, что решается задача минимизации) для рассмотренных случаев приведены в следующей таблице. •

Случай	**Эффективность постоянного управления**		**Эффективность «переменного» управления**	
	$\gamma = 0{,}1$	$\gamma = 3$	$\gamma = 0{,}1$	$\gamma = 3$
1: $G(\cdot) = \beta$	0,2505	0,2505	0	0
2: $G(\cdot)$ описывается выражением (13)	0,2505	0,2711	0	0,1736
3: $G(\cdot)$ описывается выражением (14)	0,2504	0,25	0	0
4: $G(\cdot)$ описывается выражением (15)	0,2505	0,2515	0	0
5: $G(\cdot)$ описывается выражением (16)	0,2504	0,2502	0	0

4. Заключение

Основной результат настоящей работы на качественном уровне заключается, во-первых, в сведении задачи унифицированного информационного управления в однородных социальных сетях, описываемых регулярным графом взаимодействия их членов, к задаче анализа изменений мнений одного агента под воздействием сообщений СМИ. Во-вторых, представляется интересным рассмотрение зависимости доверия агента к сообщаемой СМИ информации не только от того, кто сообщает ему эту информацию (что традиционно учитывается в марковских моделях социальных сетей (см. обзор [4] и модели в [3])), т. е., того, какова репутация источника информации (см. обзор [2] и модели репутации в [5]), но и от содержания этой информации (т. е., от того, насколько она противоречит представлениям самого агента).

Существенным представляется то, что введенные (достаточно сильные) предположения о регулярности графа связей и одинаковости агентов позволили получить простые аналитические выражения для динамики мнений агентов и свести задачу информационного управления к простым и известным оптимизационным задачам.

Очень перспективным выглядит описание и изучение нелинейных моделей социальных сетей с учетом доверия (когда степень учета агентом мнения своего «соседа» зависит не только от того, кто сообщает информацию, но и какую информацию он сообщает – см. выражение (17')). При этом, правда, в общем случае неоднородных агентов вряд ли удастся получить простые (типа (2)) аналитические выражения для «равновесных» состояний социальной сети.

Можно рассматривать другие (в том числе пороговые) классы функций доверия, можно усложнить внутреннюю структуру агента (по аналогии с моделями биполярного выбора [10] или логическими моделями В.А. Лефевра [6]). Можно ввести в модель рефлексию и предполагать, что агенты, в зависимости от своих мнений выбирают действия и наблюдают результаты этих действий (т. е. разделить «мнение – действие – результат»), Тогда можно исследовать не только эффективность, но и стабильность информационных воздействий [10]. В конце концов, можно рассматривать немарковский закон динамики мнений агентов, а более сложный, в рамках которого каждый агент пытается прогнозировать изменение мнений остальных и т.д. Для этого, правда, придется потребовать, чтобы вся социальная сеть была общим знанием среди агентов, что является очень сильным предположением. Все это – перспективные направления исследования моделей информационного управления в социальных сетях.

Литература

1. ВАСИН А.А., КРАСНОЩЕКОВ П.С., МОРОЗОВ В.В. *Исследование операций*. – М.: Изд-во Академия, 2008.
2. ГУБАНОВ Д.А. *Обзор онлайновых систем репутации/доверия* / Интернет-конференция по проблемам управления (www.mtas.ru/forum). – М.: ИПУ РАН, 2009. – 25 с.
3. ГУБАНОВ Д.А., НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Модели информационного влияния и информационного управления в социальных сетях* // Проблемы управления, 2009. №5. С. 28 – 35.
4. ГУБАНОВ Д.А., НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Модели влияния в социальных сетях* (*обзор*) // Управление

большими системами, 2009. №27. С. 205-281.
5. ГУБАНОВ Д.А., НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Модели репутации и информационного управления в социальных сетях* // Математическая теория игр и ее приложения, 2009. Том 1. Выпуск 2. С. 14 – 37.
6. ЛЕФЕВР В.А. *Алгебра совести*. – М.: Когито-центр, 2002.
7. МАЙЕРС Д. *Социальная психология*. – СПб.: Питер, 1998.
8. НОВИКОВ Д.А. *Закономерности итеративного научения*. – М.: ИПУ РАН, 1998.
9. НОВИКОВ Д.А. *Теория управления организационными системами*. 2-е издание. – М.: Физматлит, 2007.
10. ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Теоретико-игровые модели информационного управления*. – М.: ПМСОФТ, 2005.
11. JACKSON M. *Social and Economic Networks*. – Princeton: Princeton University Press, 2008.

MODELS OF UNIFIED INFORMATION CONTROL IN HOMOGENEOUS SOCIAL NETWORKS

Dmitry Gubanov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Candidate of Sc. (DimaGubanov@mail.ru).
Dmitry Novikov, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Sc., Professor, Deputy director (novikov@ipu.ru).

Abstract: *Models of unified information control in social networks described by a regular graph of interaction of their members are considered. The main emphasis is on the models taking into account dependence between confidence in information and contents of information.*

Keywords: social network, regular graph, information control.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии О. П. Кузнецовым