Системы управления и информационные технологии. 2009. 3.1 (37). С. 124 – 129.

МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОНТРОЛЯ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Губанов Д.А.[1], **Новиков Д.А.**[2]
(*Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления РАН, Москва*)

Ключевые слова: социальная сеть, распределенный контроль, информационное управление, согласование интересов.

Аннотация. Рассматриваются модели распределенного управления членами социальных сетей. Формулируются условия согласования интересов управляющих органов, осуществляющих информационные воздействия.

1. Введение

Во многих реальных системах один и тот же агент оказывается подчинен одновременно нескольким центрам, находящимся либо на одном, либо на различных уровнях иерархии. Первый случай называется *распределенным контролем* (английский аналог в теории контрактов – agency [12, 13]), второй – *межуровневым взаимодействием* [9, 11]. Наиболее ярким примером распределенного контроля являются *матричные структуры управления* [10].

В настоящей работе рассматривается распределенный контроль в социальных сетях, когда субъекты, осуществляющие информационные воздействия на членов социальной сети, могут иметь, в общем случае, несовпадающие интересы.

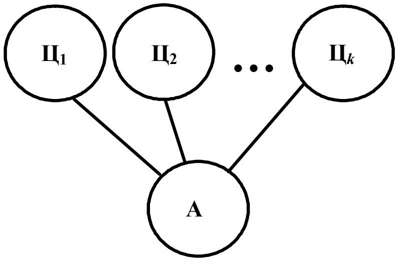
Изложение имеет следующую структуру. Во втором разделе приведены известные результаты описания и исследования систем с распределенным контролем. В третьем – общая технология постановки и решения задач согласования интересов элементов систем с распределенным контролем, в четвертом – модель информационных влияний на членов социальной сети, в пятом – условия согласования интересов управляющих органов.

---

1 Губанов Дмитрий Алексеевич, м.н.с. ИПУ РАН (DimaGubanov@mail.ru).
2 Дмитрий Александрович Новиков, доктор технических наук, профессор, член-корреспонедент РАН, заместитель директора ИПУ РАН (novikov@ipu.ru).

2. Система с распределенным контролем

Условно систему с распределенным контролем (РК), состоящую из k управляющих органов – *центров* и одного управляемого субъекта – *агента*, можно представить в виде, приведенном на рис. 1.



$$\Gamma_0(\Gamma_i(ГРП))$$
$(i = 1, 2, 3)$

Рис. 1. Структура системы с распределенным контролем

В РК центры, осуществляющие управление агентом, оказываются вовлеченными в «игру» (на рис. 1 эта «игра в нормальной форме» условно обозначена Γ_0; она разыгрывается «над» набором иерархических игр (Γ_1, Γ_2 или Γ_3 [10]), в каждой из которых поведение агента описывается гипотезой рационального поведения – ГРП [7]), равновесие в которой имеет достаточно сложную структуру. В частности, можно выделить два устойчивых режима взаимодействия центров – режим сотрудничества и режим конкуренции [11].

В *режиме сотрудничества* центры действуют совместно, что позволяет добиваться требуемых результатов деятельности управляемого агента с использованием минимального количества ресурсов.

В *режиме конкуренции*, который возникает, если цели центров различаются достаточно сильно, ресурсы расходуются неэффективно.

Приведем, следуя [10], простейшую модель РК. Пусть организационная система (ОС) состоит из одного агента и k центров. Стратегией агента является выбор действия $y \in A$, что требует от него затрат $c(y)$. Каждый центр получает от деятельности агента доход, описываемый функцией $H_i(y)$, и выплачивает агенту стимулирование $\sigma_i(y)$, $i \in K = \{1, 2, ..., k\}$ – множеству центров. Таким образом, целевая функция i-го центра имеет вид

$$\Phi_i(\sigma_i(\cdot), y) = H_i(y) - \sigma_i(y), i \in K \text{ , (1)}$$

а целевая функция агента:

$$f\left(\left\{\sigma_i(\cdot)\right\}, y\right) = \sum_{i \in K} \sigma_i(y) - c(y). \quad (2)$$

Порядок функционирования следующий: центры одновременно и независимо выбирают функции стимулирования и сообщают их агенту, который затем выбирает свое действие. Ограничимся рассмотрением множества Парето-эффективных равновесий Нэша игры центров, в которых, как показано в [11] их стратегии имеют вид

$$\sigma_i(y) = \sigma_i(x, y) = \begin{cases} \lambda_i, & y = x \\ 0, & y \neq x \end{cases}, \ i \in K. \quad (3)$$

Содержательно, центры договариваются о том, что будут побуждать агента выбирать действие $x \in A$ – *план* – и осуществлять совместное стимулирование. Такой режим взаимодействия центров называется режимом сотрудничества.

Из условий оптимальности по Парето следует, что сумма вознаграждений, получаемых агентом от центров в случае выполнения плана, равна его затратам (обобщение принципа компенсации затрат [10] на системы с распределенным контролем), то есть:

$$\sum_{i \in K} \lambda_i = c(x). \quad (4)$$

Условие выгодности сотрудничества для каждого из центров можно сформулировать следующим образом: в режиме сотрудничества каждый центр должен получить полезность не меньшую, чем он мог бы получить, осуществляя стимулирование агента в одиночку (компенсируя последнему затраты по выбору наиболее выгодного для данного центра действия). Полезность i-го центра от «самостоятельного» взаимодействия с агентом в силу результатов решения задачи стимулирования, приведенных в [11], равна

$$W_i = \max_{y \in A} \left[H_i(y) - c(y)\right], \ i \in K. \quad (5)$$

Обозначим $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_k)$,

$$S = \left\{ x \in A \;\middle|\; \exists\, \lambda \in \Re_+^k : H_i(x) - \lambda_i \geq W_i, \ i \in K, \ \sum_{i \in K} \lambda_i = c(x) \right\} \quad (6)$$

– множество таких действий агента, для реализации которых сотрудничество выгодно для центров. Множество пар $x \in S$ и соответствующих векторов λ называется *областью компромисса*:

$$\Lambda = \left\{ x \in A, \lambda \in \Re_+^k \;\middle|\; H_i(x) - \lambda_i \geq W_i, \ i \in K, \ \sum_{i \in K} \lambda_i = c(x) \right\}. \quad (7)$$

Режим сотрудничества по определению имеет место, если область компромисса не пуста: $\Lambda \neq \varnothing$. В режиме сотрудничества агент получает нулевую полезность. Обозначим

$$W_0 = \max_{y \in A} \left[\sum_{i \in K} H_i(y) - c(y) \right]. \ (8)$$

Основным результатом исследования РК является следующий критерий: область компромисса не пуста тогда и только тогда, когда [11]:

$$W_0 \geq \sum_{i \in K} W_i \ . \ (9)$$

Таким образом, критерием реализуемости режима сотрудничества является условие (9). Содержательно оно означает, что, действуя совместно, центры могут получить бо́льшую суммарную полезность, чем действуя в одиночку. Разность $W_0 - \sum_{i \in K} W_i$ может интерпретироваться как мера согласованности интересов центров и характеристика эмерджентности ОС.

Если условие (9) не выполнено и $\Lambda = \varnothing$, то имеет место режим конкуренции центров, характеризуемый так называемым аукционным решением. Упорядочим (перенумеруем) центры в порядке убывания величин $\{W_i\}$: $W_1 \geq W_2 \geq \ldots \geq W_k$. Победителем будет первый центр, который предложит агенту, помимо компенсации затрат, полезность, на сколь угодно малую величину превышающую W_2.

3. Общая технология постановки и решения задач согласования интересов элементов систем с распределенным контролем

В соответствии с [1] технология заключается в следующем:

1) Описывается состав и структура системы, состоящей, как минимум, из нескольких управляющих органов и одного или нескольких управляемых ими агентов на более низких уровнях иерархии.

2) Задается порядок функционирования: центры одновременно и независимо выбирают управления и сообщают их агентам, которые затем, в свою очередь, одновременно и независимо выбирают свои действия при известных управлениях.

3) Задаются целевые функции и множества допустимых действий участников. При этом обычно предполагается, что управления центров аддитивно входят в целевую функцию каждого из агентов, а управления, сообщаемые каждым из центров разным агентам, также входят аддитивно в целевую функцию первого.

4) Обосновывается, что при рассмотрении эффективных по Парето равновесий Нэша игры центров последним достаточно ограничиться квазикомпенсаторными стратегиями вида (3) – в многоэлементных системах – декомпозирующими взаимодействие агентов [10]. Для этого целесообразно использовать общие результаты, приведенные в [6, 8], в соответствии с которыми для любой Парето-эффективной стратегии любого центра найдется стратегия не меньшей эффективности, в которой вознаграждение агента будет отлично от нуля не более чем в k точках.

Тем самым задача поиска набора функций сводится к поиску[3] $(k + 1)$-го значения параметров – одного для всех центров согласованного плана и размеров вознаграждений, выплачиваемых агенту каждым из k центров.

5) Записывается балансовое условие типа (4), означающее, что суммарные выплаты агенту в случае выбора им требуемых действий должны в точности компенсировать его затраты.

6) Для каждого из центров вычисляется величина вида (5) его выигрыша от взаимодействия с агентом в одиночку.

7) Записывается область компромисса вида (7).

8) Вычисляется максимально возможное значение суммарного выигрыша центров при совместной деятельности вида (8).

9) Проверяется условие типа (9), гарантирующее непустоту области компромисса.

10.1) Если условие типа (9) выполнено, то возможен режим сотрудничества и задача заключается в поиске механизма компромисса – процедуры определения конкретной точки внутри области компромисса.

10.2) Если условие типа (9) не выполнено, то имеет место режим конкуренции центров, характеризуемый аукционным решением их игры. В этом случае проводится анализ эффективности этого решения, и, если оно признано неудовлетворительным, то исследуется возможность обеспечения согласованности интересов центров за счет вмешательства органов управления более высоких уровней или использования концепции ограниченной рациональности.

Приведенная выше технология постановки и решения задачи согласования интересов элементов системы с распределенным контролем является общей. Проиллюстрируем ее применение к задаче информационного управления в социальных сетях.

---

[3] *Если центры управляют несколькими* ($n \geq 2$) *агентами, то число искомых параметров равно* $n\,(k + 1)$.

4. Модель информационных влияний на членов социальной сети

Под *социальной сетью* в соответствии с [3] понимается социальная структура, состоящая из множества *агентов* (субъектов – индивидуальных или коллективных, например: индивидов, семей, групп, организаций) и определенного на нем множества *отношений* (совокупности *связей* между агентами, например: знакомства, дружбы, сотрудничества, коммуникации). Формально социальная сеть представляет собой граф $G(N, E)$, в котором N – множество вершин (агентов) и E – множество ребер (отношений).

При моделировании социальных сетей возникает необходимость учета взаимного влияния их членов, динамики их мнений. Обзор соответствующих моделей приведен в [4].

Будем описывать агентов, входящих в социальную сеть, множеством $N = \{1, 2, ..., n\}$. Агенты влияют друг на друга, а степень этого влияния определяется их репутацией [5]. У каждого агента в начальный момент времени имеется *мнение* по некоторому вопросу. Мнение всех агентов сети отражает вектор-столбец неотрицательных начальных мнений y^0 размерности n. Агенты в социальной сети взаимодействуют, обмениваясь мнениями. Этот обмен приводит к тому, что мнение каждого агента меняется под влиянием мнений агентов, которым данный агент доверяет. Следуя [4], будем считать, что мнение i-го агента в момент времени τ равно

$$y_i^\tau = \sum_{j \in N} \beta_{ij} y_j^{\tau-1}\ , (10)$$

где $\beta_{ij} \geq 0$ обозначает степень *доверия* i-го агента j-му агенту (или, что будем считать эквивалентным, степень влияния j-го агента на i-го агента). Обозначим $\beta = \|\beta_{ij}\|$. Если при многократном обмене мнениями мнения агентов сходятся (см. условия такой сходимости в [4]) к результирующему (итоговому) вектору мнений $Y = \lim\limits_{\tau \to \infty} y^\tau$, то можно записать соотношение

$$Y = \alpha\, y^0, (11)$$

где $\alpha = \lim\limits_{\tau \to \infty} (\beta)^\tau$.

Таким образом, вектор результирующих мнений членов социальной сети в рассматриваемой модели однозначно определяется вектором их начальных мнений и матрицей влияния/доверия. Этот факт позволяет ставить и решать задачи информационного управления – поиска таких целенаправленных воздействий на начальные мнения агентов, которые приводили бы к требуемым итоговым мнениям. Ряд таких задач рассмотрен в [4, 5]. В следующем разделе формулируется задача согласования интересов органов, осуществляющих информационное управление.

5. Условия согласования интересов управляющих органов

Обозначим:

$\{N_i\}_{i \in K}$ – совокупность подмножеств множества агентов N, где N_i – множество агентов, на которые может оказывать информационные воздействия i-ый центр, $i \in K$;

$K_j = \{k \in K \mid j \in N_k\}$ – множество центров, которые могут оказывать информационные воздействия на j-го агента, $j \in N$;

$c_i(y^0, x)$ – затраты на изменение мнения i-го агента с y_i^0 на x_i, причем эти затраты могут в общем случае зависеть от векторов мнений всех агентов – вектора y^0 (начальные мнения до информационного воздействия) и вектора x (начальные мнения после информационного воздействия), $i \in N$;

$H_i(x)$ – предпочтения i-го центра на множестве мнений агентов[4], $i \in K$;

$\sigma_{ij}(y^0, x)$ – затраты i-го центра на осуществление информационных воздействий на j-го агента, $j \in N_i$, $i \in K$.

Содержательно, центры осуществляют информационные воздействия на агентов, меняя их мнения, причем на одного и того же агента могут воздействовать одновременно несколько центров (система с распределенным контролем). Если каждый из центров будет пытаться изменить мнение некоторого агента в свою сторону, то необходимо иметь модель того, как будет изменяться мнение агента под влиянием таких «противоречивых» воздействий. Соответствующих формальных моделей, хоть сколько-нибудь адекватных действительности, на сегодняшний день не существует, поэтому в настоящей работе мы ограничимся анализом условий согласованности интересов управляющих органов – когда они смогут договориться между собой, каковы должны быть формируемые мнения агентов (при этом можно быть уверенным, что ни один из агентов не будет получать «противоречивых» воздействий!).

Целевая функция i-го центра имеет вид

$$\Phi_i\left(\{\sigma_{ij}(\cdot)\}_{j \in N_i}, y^0, x\right) = H_i(x) - \sum_{j \in N_i} \sigma_{ij}(y^0, x), i \in K, \quad (12)$$

а целевая функция j-го агента:

$$f\left(\{\sigma_{ij}(\cdot)\}_{i \in K_j}, y\right) = \sum_{i \in K_j} \sigma_{ij}(y^0, x) - c_i(y^0, x). \quad (13)$$

---

[4] *Конечно, более естественным было бы считать, что предпочтения центров определены на множестве результирующих мнений агентов, но последние, в силу выражения (11), однозначно определяются начальными мнениями.*

Порядок функционирования следующий: центры одновременно и независимо выбирают свои управляющие воздействия и сообщают их агентам. Ограничимся, как и выше, рассмотрением множества Парето-эффективных равновесий Нэша игры центров, то есть исследуем стратегии центров вида

$$\sigma_{ij}(y^0, x) = \begin{cases} \lambda_{ij}, \ y_j = x_j \\ 0, \ \ y_j \neq x_j \end{cases}, j \in N_i, i \in K. \ (14)$$

Содержательно, центры договариваются о сотрудничестве, то есть о том, что они будут совместно формировать вектор x мнений агентов и осуществлять совместное стимулирование.

Из условий оптимальности по Парето следует, что сумма вознаграждений, получаемых агентом от центров, должна быть равна его затратам, то есть:

$$c_i(y^0, x) = \sum_{j \in K_i} \lambda_{ji}, i \in N. \ (15)$$

Условие (15) означает, что центры должны распределить между собой затраты на изменение мнений каждого из агентов.

По аналогии с выражением (5) вычислим

$$W_i = \max_x \left[H_i\left(x_{N_i}, y^0_{-N_i}\right) - \sum_{j \in N_i} c_i(y^0, x) \right], i \in K \ \ (16)$$

и

$$W_0 = \max_x \left[\sum_{i \in K} H_i(x) - \sum_{j \in N} c_j(y^0, x) \right]. \ (17)$$

Обозначим $\lambda = \|\lambda_{ij}\|$,

$$S = \left\{ x \in \Re^n_+ \ \middle| \ \exists\, \lambda \in \Re^{nk}_+ : H_i(x) - \sum_{j \in N_i} \lambda_{ij} \geq W_i, \ i \in K, \ c_i(y^0, x) = \sum_{j \in K_i} \lambda_{ij}, i \in N \right\} \ (18)$$

– множество таких векторов мнений агентов, для реализации которых сотрудничество выгодно для центров. Множество пар векторов $x \in S$ и соответствующих матриц затрат центров λ назовем *областью компромисса* в задаче распределенного управления социальной сетью:

$$\Lambda = \left\{ x \in \Re^n_+, \exists\, \lambda \in \Re^{nk}_+ \mid H_i(x) - \sum_{j \in N_i} \lambda_{ij} \geq W_i, \ i \in K, \ c_i(y^0, x) = \sum_{j \in K_i} \lambda_{ij}, i \in N \right\}. \ (19)$$

Режим сотрудничества (условно говоря, в случае социальных сетей – *информационная кооперация*) по определению имеет место, если область компромисса (19) не пуста: $\Lambda \neq \varnothing$.

По аналогии с соответствующими критериями непустоты области компромисса (см. [1, 6, 8, 11]) можно доказать справедливость следующего утверждения.

Утверждение 1. Согласование интересов управляющих органов, осуществляющих информационные воздействия на членов социальной сети, возможно тогда и только тогда, когда

$$\max_x \left[\sum_{i \in K} H_i(x) - \sum_{j \in N} c_j(y^0, x) \right] \geq \sum_{i \in K} \max_x \left[H_i(x_{N_i}, y^0_{-N_i}) - \sum_{j \in N_i} c_i(y^0, x) \right] \quad (20).$$

Условие (20) гарантирует возможность согласования интересов управляющих органов. Если оно не выполнено, то имеет место режим конкуренции. Если считать, что воздействия центров не «интерферируют», то есть агент соглашается принять мнение того центра, который предложил максимальное поощрение, не обращая внимания на информацию от других центров, то будет иметь место аукционное решение. Содержательно, режим конкуренции соответствует *информационной войне*, победителем в которой будет центр, имеющий максимальный ресурс (16).

Обозначим

$$x^i = \arg\max_x \left[H_i\left(x_{N_i}, y^0_{-N_i}\right) - \sum_{j \in N_i} c_i(y^0, x) \right], i \in K .$$

Упорядочим (перенумеруем) центры в порядке убывания величин $\{W_i\}$: $W_1 \geq W_2 \geq \ldots \geq W_k$. По аналогии с анализом аукционных решений в [1, 6, 8, 11] можно- доказать справедливость следующего утверждения.

Утверждение 2. Если условие (20) не выполнено, то мнение членов социальной сети, сложившееся в результате информационных воздействий, будет $(x_{N_1}, y^0_{-N_1})$

6. Заключение

Умея анализировать модели распределенного контроля в социальных сетях, можно ставить и решать задачу более высокого уровня, а именно – *задачу раздела сфер влияния*, то есть определения того, какие из подмножеств членов социальной сети будут контролироваться тем или иным управляющим органом. Исследование соответствующих кооперативных теоретико-игровых моделей представляется перспективным направлением дальнейших исследований.

Список литературы

1.Баркалов С.А., Калинина Н.Ю., Новиков Д.А. Механизмы компромисса в моделях функционирования команд управления проектами // Вестник ВГТУ. 2008. Т. 4. № 7. С. 47 – 50.

2.Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. – М.: Наука, 1976. – 327 с.

3.Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели влияния в социальных сетях (обзор) // Управление большими системами. 2009. № 27.

4.Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели информационного влияния и информационного управления в социальных сетях // Проблемы управления. 2009. № 5.

5.Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели репутации и информационного управления в социальных сетях // Управление большими системами. 2009. № 26.1.

6.Губко М.В., Караваев А.П. Согласование интересов в матричных структурах управления // Автоматика и телемеханика. 2001. № 10. С. 112 – 119.

7.Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2002. – 148 с.

8.Караваев А.П. Модели и методы управления составом активных систем. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 151 с.

9.Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. – М. : Фонд «Проблемы управления», 1999. – 150 с.

10.Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.

11.Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. – М.: ИПУ РАН, 2001. – 118 с.

12.Bernheim B., Whinston M. Common agency / // Econometrica. 1986. Vol. 54. P. 923 – 942.

13.Mas-Colell A. Whinston M.D., Green J.D. Microeconomic theory. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 1995. – 1008 p.