АНАЛИЗ СТРАТЕГИИ АГЕНТОВ ПО СИГНАТУРАМ СТРУКТУРЫ ИНФОРМИРОВАННОСТИ

Стюгин М.А.
(ГОУ ВПО Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск)
styugin@rambler.ru

В данной работе предлагается метод анализа конфликтных ситуаций, когда функция полезности агентов заменяется правилами принятия решений. Такой подход в некоторых случаях упрощает рассмотрение конфликтной ситуации, однако накладывает значительные ограничения на условия конфликта. Конфликт должен быть представлен в виде отдельных переходов и булевой готовности агентов их совершить. Эти ограничения видны при построении модели.

Ключевые слова: рефлексия, рефлексивные игры, структура информированности.

Построение модели

Для начала, предположим, что в системе есть два агента x и y. Агент x хочет совершить некоторые действия (их можно интерпретировать как способы атаки), а агент y для каждого действия x может предпринять противодействия (методы защиты). В результате, на каждое отдельное действие и противодействие можно построить условную матрицу выигрыша агентов, которая выглядит следующим образом[1]:

---

[1] *Матрица выигрыша каждый раз будет различна, но для нас (как это будет видно в дальнейшем) важны не сами значения, а соотношения между ними (больше, меньше или равно).*

$$x_{+} = \begin{array}{c|c|c} {}_{-}\diagdown^{+} & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & +1 \\ \hline 1 & 0 & -1 \end{array} \qquad y_{-} = \begin{array}{c|c|c} {}_{-}\diagdown^{+} & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & -2 \\ \hline 1 & -1 & -1 \end{array}$$

Рис.1.

1 – агент совершает действия, 0 – не совершает.

По первой матрице. Если агент не совершает действий (атаки) то он не получает никакого выигрыша. Если совершает действия и контрагент не сопротивляется то его выигрыш +1, если контрагент сопротивляется переходу, то выигрыш -1 (атака не удалась + затраты на совершения действия).

По второй матрице. Если агент совершает действие, то его выигрыш всегда равен -1 (затраты). Если не совершает действий и не совершает действий контрагент, то выигрыш соответственно 0, если контрагент совершает действие (нападает) – ущерб в -2.

Данная игра не имеет решения в чистых стратегиях, а поэтому агенты вынуждены руководствоваться гарантирующими стратегиями. Гарантирующие стратегии основаны в данном случае на ранге рефлексии. Решение каждого агента предпринимать или не предпринимать действие основывается на длине цепочке «я думаю, что он думает о том, что думаю я …».

Попытаемся унифицировать запись таких стратегий с построением более наглядных принципов умозаключений агентов. Для этого возьмем как 0 и 1 в рассмотренном примере – готовность совершить агентом конкретное действие (противодействие). Обозначим исходное состояние объекта конфликта как *O* и, предположим, что в результате активных действий субъекта(ов) объект может быть переведен в состояние *O'*. Данный переход возможен в результате активных действий субъектов, для которых состояние объекта *O'* более выгодно, чем *O*. Для обозначения качественной характеристики (интенции) субъекта будем использовать следующие символы:

$(+)$ – субъект готов осуществить переход $O \to O'$ (положительная интенция).

$(-)$ – субъект сопротивляется переходу $O \to O'$ (отрицательная интенция).

$(\pm)$ – субъект безразлично относится к переходу $O \to O'$, что является результатом отсутствия какого-либо выигрыша/проигрыша субъекта при переходе в состояние O', либо его убежденности в невозможности перевести объект в данное состояние (нулевая интенция).

Интенцию субъекта $x \in N$ будем обозначать как $(\cdot)_x$, представление субъекта x об интенции субъекта y - $(\cdot)_{xy}$, и т.д. Таким образом, субъекта x можно изобразить в виде дерева (рис.2), которое можно рассматривать как аналог точечной структуры информированности описанной в [1].

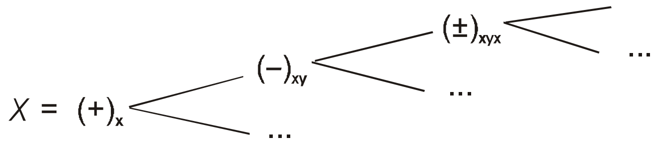


Рис. 2. Модель субъекта x

Последовательную запись ячеек дерева вида $(+)_x$, $(-)_{xy}$, $(\pm)_{xyx}$ будем называть сигнатурой. Поскольку до каждой ячейки дерева есть только один путь, будем сокращенно записывать сигнатуры по идентификатору последней ячейки, т.е. $(+-\pm)_{xyx}$. Если мы исследуем общие свойства сигнатур вне конкретных субъектов, то идентификаторы у сигнатур будем опускать.

Выразим готовность субъекта к активным действиям поставив в соответствие сигнатурной модели субъекта булеву функцию готовности $f:(\cdot)_{x\ldots} \to \{0,1\}$. В качестве ***аксиом*** введем $f(-)=1$, $f(+)=1$, $f(\pm)=0$. В дальнейшем знак функции готовности будем опускать оставляя только знак равенства. Готовность для других сигнатур выражается путем введения правил (гипотез) «рациональных умозаключений», которые используют агенты, принимая решения о возможности совершить действия. Эти правила можно ввести на матрице функций полезности агента. Для того чтобы совершить белее выгодное по своей функции полезности действие, агенты прогнозируют действия контрагентов, при этом, поскольку решения нельзя найти в чистых стратегиях, то предполагаем, что выбор агентов зависит от его ранга рефлексии. В рассмотренном примере агентам выгодны переходы по следующей схеме:

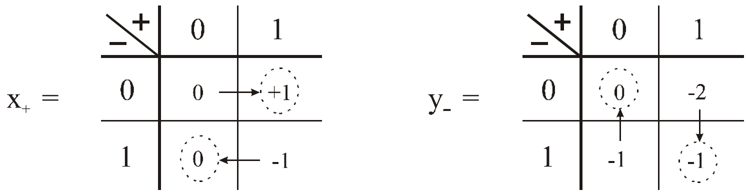
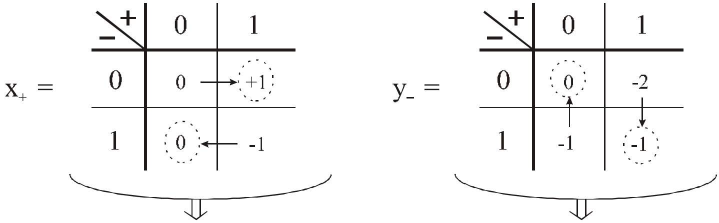


Рис.3.

Для первой матрицы. Если *y* не совершает действий (выбирает 0 – значение готовности), то *x* выгодно совершить действие (1) и наоборот, т.е. *x* выгодно принимать готовность обратную готовности *y*.

Для второй матрицы. Агенту *y* выгодно принимать готовность такую же, как и *x*.

Чтобы унифицировать запись таких переходов обозначим как **S** множество всех возможных линейных сигнатур, т.е. любых последовательностей из элементов $\{+,-,\pm\}$. В результате, и для любых λ и γ принадлежащих **S** правила соответствующие каждой матрице можно записать как



$(+(-\lambda)) = \neg(-\lambda)$ $\quad\quad$ $(-(+\lambda)) = (+\lambda)$

Рис.4.

Таким образом, правила выражают зависимость готовности элемента от готовности последующего за ним в структуре информированности.

Данные правила можно рассматривать как правила первого порядка, т.е. те которые строятся на одной ветке дерева (последовательности)[1].

Правила первого порядка[2]

<u>Правило 1.1</u>. *Субъект сопротивляется переходу с той же готовностью, с какой контрагент готов его осуществить.*

<u>Правило 1.2</u>. *Субъект не сопротивляется переходу, если есть другие субъекты, сопротивляющиеся переходу и готовые к активным действиям.*

1.1: $(-(+l)) = (+l)$ (рис.4)

1.2: $(-(-l)) = \neg(-l)$. (правило экономии ресурса)

---

[1] *Правила являются гипотезами, накладываемыми на поведение агентов, которые не могут быть универсальны для всех типов конфликтов. Приведенные здесь правила является одними из множества возможных и их справедливость необходимо рассматривать на конкретных ситуациях (для конкретных функций полезности).*

[2] *Каждое правило можно обосновать на соответствующей матрице функции полезности агентов, как и правила 1.1 и 2.1.*

<u>Правило 2.1</u>. Субъект готов осуществить переход, только если контрагент не готов к активным действиям.

<u>Правило 2.2</u>. Субъект не осуществляет переход, если есть другие субъекты с положительной интенцией и готовые к активным действиям.

2.1: $(+(-\,l\,))=\neg(-\,l\,)$ (рис.4)

2.2: $(+(+\,l\,))=\neg(+\,l\,)$. (правило экономии ресурса)

<u>Правило 3</u>. Субъект с отрицательной интенцией, который не наблюдает контрагента, не готов к активным действиям:

3: $(-(\pm\,l\,))=0$.

<u>Правило 4</u>. Субъект с положительной интенцией, который не наблюдает контрагента, всегда готов к активным действиям:

4: $(+(\pm\,l\,))=1$.

Очевидно также, что $(\pm(\,l\,))=0$.

На основании введенных правил можно, например, определить готовность совершить действия субъекта x с сигнатурой $(+-+)_{xyx}$:

$(+)=1$ - в соответствии с аксиомой;

$(-+)=(+)=1$ - в соответствии с Правилом 1.1;

$(+-+)=\neg(-+)=0$ - в соответствии с Правилом 2.1.

Таким образом, сигнатура $(+-+)_{xyx}$ является блокирующей для x. С такой сигнатурой субъект не совершает действий. Аналогично рассчитываем, что $(+-+-+)_{xyxyx}=1$. Методом индукции (с использованием Правил 1 и 2) можно доказать теоремы:

Теорема 1.

$$\left(\underbrace{+-}_{1}\underbrace{+-}_{2}\ldots\underbrace{+-}_{n}\sigma\right)=\begin{cases}1, \text{если n - четное,}\\ 0, \text{если n - нечетное,}\end{cases}$$

где σ равен либо $(+)$, либо пустому множеству.

■ *Доказательство.* l - любая последовательность чередующихся элементов $(+)$ и $(-)$, начинающаяся на $(+)$ и заканчивающаяся на $(-)$.

1. Покажем, что прибавление $(+)$ справа к последовательности не меняет значение ее функции готовности.

Т.к. правила являются функциональной зависимостью, то для $\forall a, g, m \in \mathbf{S}$ всегда выполняется условие[1] $(g)=(m)\Rightarrow(ag)=(am)$. Поскольку $(-)=(-+)=1$, то $(l)=(l(+))$, т.к. $(+\ldots+(-))=(+\ldots+(-+))$.

2. В соответствии с правилами 1.1 и 2.1 получаем $(+-l)=\neg(l)$. Таким образом получаем:

$$\left(\underbrace{+-}_{1}\underbrace{+-}_{2}\ldots\underbrace{+-}_{\mathrm{n}}\right)=\underbrace{\neg\ldots\neg}_{n-1}(+-)=\begin{cases}\neg(+-)=1, \text{ если n - четно;}\\(+-)=0, \text{ если n - нечетно.}\end{cases}$$

■

Аналогичным путем можно ввести и доказать множество других теорем, ставящих в соответствие множество сигнатур субъектов и состояние готовности.

<u>*Пример интерпретации модели*</u> для правил первого порядка. Представим ситуацию конфликта вора x и хозяина магазина y. Хозяину магазина необходимо достичь блокирующего состояния для x, т.е. ситуации, когда x не предпринимает действий. Т.к. $(+-+)_{xyx}=0$, то, сведя вора к этому состоянию, y добьется своей цели. Эту сигнатуру можно интерпретировать (с позиции x): y знает, что он (x) собирается делать, а потому предпринял соответствующие меры. Добиться этого можно, например, расклеив таблички «В магазине ведется видео-наблюдение» (имитация защиты). Но вором может оказаться сотрудник этого же

---

[1] *Напомним еще раз, что для простоты записи мы везде опускаем знак функции готовности, т.е.* $(\gamma)=(\mu)$ *следует читать как* $f(\gamma)=f(\mu)$*, где* $f(.)$ *– булева функция готовности*

магазина. Проработав в магазине некоторое время, он может обнаружить, что никаких видеокамер в магазине нет. В результате сигнатура субъекта x принимает вид $(+-+-+)_{xyxyx}=1$ (Теорема 1). В этом случае согласно теореме необходимо заставить субъекта x перейти в состояние $(+-+-+-+)_{xyxyxyx}$. Это можно добиться, например, распространив среди «своих» слух о недавно уволенном сотруднике, который руководствовался сигнатурой $(+-+-+)$ (имитация имитации защиты). Таким образом, y защищает магазин от краж превентивными мерами, направленными на исключение возможного появления сигнатур $(+\ldots)_{x\ldots}=1$. Такие меры в данном случае можно интерпретировать как имитация защиты, имитация имитации защиты, имитация имитации имитации защиты и т.д. Этот ряд является бесконечным, т.к. бесконечный ряд сигнатур определяемых Теоремой 1.

Правила второго порядка

Правила второго порядка задаются уже не на линейной сигнатуре, а на двух ветках дерева структуры информированности субъекта (рис.1).

<u>Правило 5</u>. *Субъект с отрицательной интенцией совершает действия, только если контрагент готов к активным действиям и другой субъект с отрицательной интенцией не готов к активным действиям*:

5: $(-(+l)(-g))=(+l)\wedge\neg(-g)$. (рис. 5)

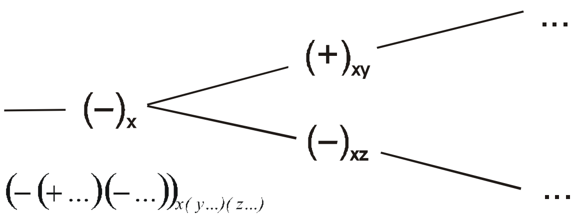


Рис.5

<u>Правило 6</u>. Субъект с положительной интенцией совершает действия, только если контрагент не готов к активным действиям и если другой субъект с положительной интенцией не готов к активным действиям:

6: $(+(+l)(-g)) = \neg(+l) \wedge \neg(-g)$.

<u>Правило 7</u>. Субъект с положительной интенцией наблюдающий двух контрагентов готов к активным действиям только если оба контрагента не сопротивляются переходу:

7: $(+(-l)(-g)) = \neg(-l) \wedge \neg(-g)$

<u>Правило 8</u>. Субъект с отрицательно интенцией наблюдающий двух контрагентов совершает активные действия только если один из контрагентов готов к активным действиям:

8: $(-(+l)(+g)) = (+l) \vee (+g)$

Рассмотрим конфликт трех агентов, два из которых с положительной интенцией и один агент с отрицательной интенцией:

$(+\ldots)_{x\ldots}$

$(+\ldots)_{y\ldots}$

$(-\ldots)_{z\ldots}$

Каждый агент не ошибается в интенциях двух других, а также не считает, что они ошибаются в своих представлениях об интенциях. Рассмотрим, как изменяется готовность агента x при увеличении ранга рефлексии (осознания виртуальными агентами мира).

$(+) = 1$ (на нулевом ранге рефлексии)

$(+(+)(-)) = 0$ (на первом ранге рефлексии)

$(+(+(+)(-))(-(+)(+))) = 0$ (на втором ранге рефлексии)

$(+(+(+(+)(-))(-(+)(+)))(-(+(+)(-))(+(+)(-)))) = 1$ (на третьем ранге рефлексии)

И далее обозначим только готовность вторичных агентов в структуре информированности:

$$\underset{0}{(}+\underset{1}{(}+\ldots\quad)\underset{0}{(}-\ldots\quad))=0 \qquad \text{(на четвертом ранге рефлексии)}$$

$$\underset{0}{(}+\underset{0}{(}+\ldots\quad)\underset{1}{(}-\ldots\quad))=0 \qquad \text{(на пятом ранге рефлексии)}$$

$$\underset{1}{(}+\underset{0}{(}+\ldots\quad)\underset{0}{(}-\ldots\quad))=1 \qquad \text{(на шестом ранге рефлексии)}$$

Агент готов совершить действия только когда ранг рефлексии кратен 3. Именно на этом шаге рефлексии два других агента в представлениях x не совершают активных действий.

В результате сделаем обобщение:

Теорема 2.

$\left(+\underbrace{(+(+\ldots(+}_{n})(-)\ldots\right)=1$, если n (количество скобок) кратно 3 и каждое разветвление сигнатуры удовлетворяет условиям $(+(+\,l\,)(-\,g\,))$ или $(-(+\,l\,)(+\,g\,))$.

То есть агент с положительной интенцией, наблюдающий двух агентов с различными интенциями и считающий, что они не ошибаются в своих представлениях, готов совершить действие, если ранг его рефлексии кратен трем.

Следствие из теоремы 2. Если агент не имеет каких-либо предпочтений в выборе ранга рефлексии, то вероятность того, что x будет готов совершить действия для последнего примера равна 1/3, а для примера с двумя агентами ½. Таким образом, агент с отрицательной интенцией для снижения риска совершения перехода в системе может внедрять несуществующих агентов в сознание реального контрагента, снижая тем самым его готовность.

Для упрощения записи введем операцию степени как количество отображений структуры на саму себя. Например:

$$(+(+)(-))^2 = (+(+(+)(-))(-(+)(+)))$$

$$(+(+)(-))^3 = (+(+(+(+)(-))(-(+)(+)))(-(+(+)(-))(+(+)(-))))$$

и т.д. Тогда запись *Теоремы 2* можно упростить:

Теорема 2′. $(+(+)(-))^n = 1$, если n кратно 3.

(а так же $(+(+)(-))^n = 0$, если n не кратно 3)

Поскольку агент совершает действия *тогда и только тогда*, когда ранг кратен 3, запись теоремы можно сократить:

Теорема 2′′. $(+(+)(-))^n = 1 \Leftrightarrow$ n кратно 3.

■ Для доказательства теоремы необходимо показать, что значение функции готовности на n-ом шаге рефлексии равно значению функции на (n+3)-ем шаге.

l - любая сигнатура из $(+(+)(-))^i, i \in \mathbf{N}$, а t - любая сигнатура из $(-(+)(+))^i, i \in \mathbf{N}$,

По правилам 6 и 8 получаем:

$$\mathrm{n}: (+(l)(t)) = \neg((l) \wedge (t));$$

$$\mathrm{n}+1: (+(+(l)(t))(-(l)(l))) = (l) \wedge (t) = \neg(+(l)(t));$$

$$\mathrm{n}+2: (+(+(+(l)(t))(-(l)(l)))(-(+(l)(t))(+(l)(t)))) = \\ = (l) \wedge (t) = \neg(+(l)(t));$$

$$\mathrm{n}+3: (\ +(+(+(+(l)(t))(-(l)(l)))(-(+(l)(t))(+(l)(t)))) \\ (-(+(+(l)(t))(-(l)(l)))(+(+(l)(t))(-(l)(l))))\ ) = \\ = \neg((l) \wedge (t)) = (+(l)(t)).$$

Поскольку $(+(+)(-))^1 = 0$, $(+(+)(-))^2 = 0$ и $(+(+)(-))^3 = 1$, получаем, что функция готовности равна 1 только когда ранг рефлексии кратен 3. Теорема доказана.

■

Аналогично можно доказать другие теоремы для трех агентов:

Теорема 3. $\left(+\left(-\right)\left(-\right)\right)^{n}=0 \Leftrightarrow (\mathrm{n}-1)$ кратно 3.

Теорема 4. $\left(-\left(+\right)\left(+\right)\right)^{n}=1 \Leftrightarrow (\mathrm{n}-1)$ кратно 3.

Теорема 5. $\left(-\left(+\right)\left(-\right)\right)^{n}=0 \Leftrightarrow (\mathrm{n}-1)$ кратно 3.

Теорема 6. $\left(+\left(+\right)\left(+\right)\right)^{n}=1 \Leftrightarrow \mathrm{n}$ кратно 2.

Рассмотрим **пример**. Двум кандидатам на выборах выгодно провести некоторую PR-кампанию не выгодную третьему кандидату, но третий кандидат может предпринять антикампанию, которая сведет на нет действия кампании (т.е. принимаем истинность гипотез по правилам первого порядка). Но при этом первый кандидат считает, что антикампанию выгодно провести обоим конкурентам. Каждый кандидат считает свою структуру информированности общим знанием. Т.е. получаем:

$\left(+\left(-\ldots\right)\left(-\ldots\right)\right)_{x(y\ldots)(z\ldots)}$,

$\left(+\left(+\ldots\right)\left(-\ldots\right)\right)_{y(x\ldots)(z\ldots)}$,

$\left(-\left(+\ldots\right)\left(+\ldots\right)\right)_{z(x\ldots)(y\ldots)}$,

и далее отображение структуры на саму себя.

Вопрос: какова вероятность того, что PR-кампания будет успешной, если учесть что кандидаты не располагают какими-либо предпочтениями в выборе ранга рефлексии.

Если считать выбор любых рангов рефлексии кандидатами равновероятными, то по теоремам 3, 4 и 5 получаем: x совершает действие с вероятностью 2/3, y совершает действие с вероятностью 1/3 и z совершает действие с вероятностью 1/3. Таким образом, PR-кампания будет успешно проведена с вероятностью:

$$P=\left(1-\left(1-{}^{2}\!/_{3}\right)\cdot\left(1-{}^{1}\!/_{3}\right)\right)\cdot\left(1-{}^{1}\!/_{3}\right)={}^{14}\!/_{27}$$

Как можно снизить вероятность успешного проведения кампании?

Во-первых, можно прояснить агенту x то, что y не сопротивляется, а содействует переходу:

$$(+(+\ldots)(-\ldots))_{x(y\ldots)(z\ldots)}$$

Тогда вероятность совершения действий агентом x снизится до 1/3, а конечная вероятность будет

$$P=\left(1-\left(1-\tfrac{1}{3}\right)\cdot\left(1-\tfrac{1}{3}\right)\right)\cdot\left(1-\tfrac{1}{3}\right)=\tfrac{10}{27}$$

Однако более эффективным будет прояснить для агента z реальную структуру информированности агента x:

$$(-(+(-\ldots)(-\ldots))(+(+\ldots)(-\ldots)))_{z(x(y\ldots)(z\ldots))(y(x\ldots)(z\ldots))}$$

Посчитаем значения готовности по такой сигнатуре:

$$(-(+(-)(-))(+(+)(-)))=0$$

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

$$\left(-(+(-)(-))^3(+(+)(-))^3\right)=1$$

$$\left(-(+(-)(-))^4(+(+)(-))^4\right)=0$$

...

$$\begin{cases}\left(-(+(-)(-))^n(+(+)(-))^n\right)=0, \text{если (n - 1) кратно 3}\\ \left(-(+(-)(-))^n(+(+)(-))^n\right)=1, \text{если (n - 1) не кратно 3}\end{cases}$$

Т.е. z совершает действия с вероятностью 2/3

В результате конечная вероятность

$$P=\left(1-\left(1-\tfrac{2}{3}\right)\cdot\left(1-\tfrac{1}{3}\right)\right)\cdot\left(1-\tfrac{2}{3}\right)=\tfrac{7}{27}.$$

При принятии обеих мер (они независимы):

$$P=\left(1-\left(1-\tfrac{1}{3}\right)\cdot\left(1-\tfrac{1}{3}\right)\right)\cdot\left(1-\tfrac{2}{3}\right)=\tfrac{5}{27}.$$

Правила k-го порядка

Теорема 7. $(+(-)\ldots(-)(+)\ldots(+))^n=1 \Leftrightarrow \text{n кратно } 3$.

То есть агент с положительной интенцией, наблюдающий p $(p\geq 1)$ агентов с отрицательной интенцией и q $(q\geq 1)$ аген-

тов с положительной интенцией готов совершить действия тогда и только тогда, когда ранг его рефлексии кратен 3.

Действительно, все вторичные агенты принимают одинаковую готовность, аналогично *Теореме 2*:

$$\ldots$$

$$\underset{0}{(+}\,\underset{1}{(+}\ldots)\ldots\underset{1}{(+}\ldots)\underset{0}{(-}\ldots)\ldots\underset{0}{(-}\ldots))=0$$ (на 4-м ранге рефлексии)

$$\underset{0}{(+}\,\underset{0}{(+}\ldots)\ldots\underset{0}{(+}\ldots)\underset{1}{(-}\ldots)\ldots\underset{1}{(-}\ldots))=0$$ (на 5-м ранге рефлексии)

$$\underset{1}{(+}\,\underset{0}{(+}\ldots)\ldots\underset{0}{(+}\ldots)\underset{0}{(-}\ldots)\ldots\underset{0}{(-}\ldots))=1$$ (на 6-м ранге рефлексии)

Следствие из Теоремы 7: увеличение количества агентов в сознании агента с положительной интенцией не снижают вероятность совершения им действий ниже 1/3.

Заключение

Метод анализа конфликтных ситуаций, рассмотренный в данной статье в некоторых случаях более удобен, т.к. позволяет рассмотреть решения сразу по всем возможным рангам рефлексии агентов, однако он значительно упрощает конфликт, что во многих случаях неприемлемо. Например, для k агентов мы наблюдаем явный изоморфизм с ситуацией трех агентов, который, скорее всего не будет наблюдаться в реальности, и получен в результате очень грубого описания типа агентов и правил принятия ими решений. Однако модель неплохо подходит для прогнозирования поведения небольшого количества агентов без введения функции полезности, которую иногда определить затруднительно.

Литература

1. НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Рефлексивные игры*. М.: СИНТЕГ, 2003. – 160 с.