

NEXT-семантика для императивных действий агентов*

Г. В. Карповⁱ

ⁱСанкт-Петербургский государственный университет

Аннотация: В статье проводится сравнение классической семантики *STIT*-логики (BTS) и альтернативной семантики (*NEXT*-семантики), предложенной в Broersen, 2008. Исследуется вопрос о применении BTS и *NEXT*-семантики в отношении представления эффектов, возникающих в области обязательств агентов после осуществления ими императивных высказываний (команд). Делается вывод о существовании в *NEXT*-семантике ряда преимуществ в способе выражения императивов по отношению к BTS. Предлагается базовая агентная формула, указывающая на возникновение обязательства одного агента перед другим, причиненного осуществлением императива. Исследуется возможность агента уклониться от выполнения команды.

Ключевые слова: *STIT*-логика, императивы, деонтическая логика, реляционная семантика, BTS.

Вводные замечания

За те двадцать с лишним лет, что прошли с момента публикации первых статей Белнапа и Перлофа по *STIT*-логике, число ее приложений в самых различных областях постоянно росло. К исследованию действий агентов, которое можно было вести ее средствами, прибегали и философы, занимающиеся вопросами этики и социального взаимодействия, и специалисты в области компьютерных наук, привлеченные богатыми возможностями *STIT*-логики, связанными с моделированием разнообразных агентных действий, в том числе коллективных и коалиционных. В статье Benthem, Pasuit, 2014, которая включена в коллективную монографию 2014 года, посвященную идеям Нуэля Белнапа в отношении индетерминизма и свободы воли, Бентем и Пэкиит (Pasuit) идут гораздо дальше простого экстенсивного расширения аппликативного потенциала *STIT*-логики

*Работа выполнена в рамках проекта РГНФ «Аргументация в конкуренции современных исследовательских подходов» №14-03-00650.

и, сравнивая ее с другими подходами к действию (такими как различные логики из семейства динамических логик, теория игр и теория принятия решений, ситуационное исчисление) демонстрируют ряд технических особенностей этих подходов, не только сближающих их между собой, но и служащих основанием для создания новой единой синтетической теории действия. Добавив к этому возросшее в последние 5-7 лет число публикаций по *STIT*-логике, мы увидим, что оригинальный инструмент анализа действий рациональных агентов превратился сегодня в полноценную самостоятельную область исследования.

Приблизительно структуру этой области можно представить так. В ее первый пояс по-прежнему входят прикладные вопросы (см., например, статью Kooi, Tamminga, 2008, в которой исследуются моральные конфликты с помощью мультиагентной деонтической логики, использующей семантику *STIT*-подхода, или статью Wansing, 2006, где похожими средствами осуществляется формализация и предлагаются решения некоторых проблем формальной эпистемологии). Во второй пояс включены вопросы, связанные с поиском аналогий, как технических, так и философских, между *STIT*-подходом и прочими подходами к действию. Конкуренцию здесь стараются заменить сотрудничеством. Кроме упомянутой статьи Бентема и Пэкит, здесь мы сошлемся на статью Sagmo, 2010, где предлагается динамифицированный вариант *STIT*-логики, пригодный для работы с коллективной агентностью, или на статью Broersen et al., 2006, в которой описывается мультиагентная система, составленная из *STIT*-логики и ATL. Наконец ядро современных исследований в этой области составляют вопросы, имеющие отношение к металогическим свойствам формулируемых систем: кроме хорошо известных работ Valbiani et al., 2008 и Xu, 1998 по аксиоматизации *STIT*-логики с *dstit*-оператором; укажем и на статью Ciuni, Zanardo, 2010, поднимающую вопрос о полноте логических систем, использующих древовидные модельные структуры, и на статью Payette, 2014, обосновывающую полноту и разрешимость *STIT*-логики с *XSTIT*-оператором.

Результаты исследования, о которых рассказывается в настоящей статье, имеют отношение пока только к первому поясу проблем, и, в частности, к проблеме способа представления императивных предложений в *STIT*-подходе. Императивные предложения, или просто императивы, выражают просьбы, советы, пожелания, приказания и так далее. При этом, они, как и простые описательные предложения, могут противоречить друг другу или напротив, находиться в отношении совместимости; кроме того, одни императивы, как говорит нам об этом опыт и интуиция, могут следовать из других. Поиск и экспликация оснований логических отношений на множестве императивов, осуществленный средствами *STIT*-логики в одной из ее современных редакций (речь идет о *STIT*-логике с *XSTIT*-оператором) составляет содержание проведенного исследования.

Как мы рассчитываем показать далее, использование *XSTIT*-оператора, и соответствующей *NEXT*-семантики, вместо классических *astit*-, *dstit*- или *cstit*-операторов и семантики ветвящегося времени (BTS), дает исследователю существенные преимущества при ведении рассуждений об императивной агентности, и устраняют ряд неточностей, неизбежных в исследованиях, ведущихся средствами BTS. Связано это, в частности, с тем, что именно семантикой вет-

вящегося времени порождает сложности, препятствующие ее использованию в полной мере в формальном анализе императивов. Так, неясным оставался статус формулы $[\alpha \text{ astit} : [\beta \text{ astit} : \phi]]$, интуитивно верно выражающей факт выраженного императивом побуждающего воздействия агента α на агента β к совершению агентом β такого положения дел, что ϕ . Кроме того, затруднение для анализа императивов представляло и существование ряда проговариваемых, но не формализуемых полностью Белнапом и его соавторами условий, задающих модельные структуры BTS, и накладывающих на них некоторые ограничения (полный список условий и ограничений можно найти в Belnap, 1991b). В настоящем исследовании указанных сложностей, благодаря использованию *NEXT*-семантики, нам удалось избежать (частично или полностью).

Статья составлена из двух отделов: в отделе 1 обсуждаются особенности двух семантик *STIT*-логики, BTS и *NEXT*-семантики, в отношении возможностей изучения императивной агентности; отдел 2 содержит предложения по представлению императивов в *NEXT*-семантике за счет использования деонтического оператора “ \bigcirc ”, выражающего обязательство одного агента перед другим, возникающее после осуществления императива.

1 BTS и *NEXT*-семантика

1.1 Базовые определения

Кратко опишем семантику для *stit*-логики, предложенную в Broersen, 2008 и Broersen, 2009, и разработанную в Broersen, 2011a и Broersen, 2011b. Определения языка, модельной структуры и модели приводятся нами на основании *ibid*.

Определение 1.1 (Язык L_{Xstit} .) Для множества пропозициональных переменных Φ и множества агентных термов Γ правильно построенная формула ϕ задается следующим образом:

$$\phi := p \mid \neg\phi \mid \phi \wedge \phi \mid X\phi \mid \Box\phi \mid [A]\phi$$

где $p \in \Phi$, и $A, B, C, \dots \in \Gamma$.

До введения условий истинности на модели данные формулы можно понимать так: $X\phi$ указывает на то, что ϕ истинна в последующем состоянии относительно настоящего состояния; $\Box\phi$ означает, что ϕ истинна во всех возможных состояниях, альтернативных настоящему состоянию; $[A]\phi$ ¹ означает, что ϕ истинна в некотором будущем состоянии вследствие действия, совершенного агентом A .

Определение 1.2 (Модельная структура S .) Модельная структура S есть упорядоченная пятерка элементов $\langle S, H, R_X, R_\Box, R_A \rangle$, где $S = \{s_1, s_2, \dots\}$

¹Мы используем запись $[A]\phi$ для обозначения агентных формул с *Xstit*-оператором. Там где речь идет о классических *stit*-операторах, это будет оговариваться особо.

есть бесконечное множество статических состояний (или моментов времени), $H = \{h_1, h_2, \dots\}$ есть бесконечное множество историй, такое, что каждая история h представляет собой множество упорядоченных элементов из S ; множество пар $\{\langle s, h \rangle, \langle s', h' \rangle\} \in S \times H$ обозначает множество динамических состояний — индексов, относительно которых осуществляется означивание формул. R_X есть отношение на множестве динамических состояний $S \times H$, такое что если $\langle s, h \rangle R_X \langle s', h' \rangle$, то $h = h'$. R_\square есть отношение на $S \times H$, такое что если $\langle s, h \rangle R_\square \langle s', h' \rangle$, то $s = s'$. R_A есть отношение на $S \times H$, такое, что $R_A \subseteq R_X \circ R_\square$ и $R_\emptyset \subseteq R_\square \circ R_X$.

Дадим пояснения работе отношений, образующих модельную структуру. Пусть $S \times H = \{\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_1, h_2 \rangle, \langle s_1, h_3 \rangle, \langle s_2, h_1 \rangle, \langle s_2, h_2 \rangle, \langle s_3, h_3 \rangle\}$. Отношение R_X упорядочивает множество динамических состояний $S \times H$ так, что каждому статическому состоянию s , принадлежащему истории h , R_X ставит в соответствие статическое состояние s' , принадлежащее той же истории, и являющееся следующим за s статическим состоянием на h . Тогда, в отношении указанного выше множества $S \times H$, $R_X = \{(\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_2, h_1 \rangle), (\langle s_1, h_2 \rangle, \langle s_2, h_2 \rangle), (\langle s_1, h_3 \rangle, \langle s_3, h_3 \rangle)\}$. R_X , подобно отношению строгого порядка $<$ в BTS, определяет древовидную модельную структуру S , например так, как это представлено на рисунке 1.

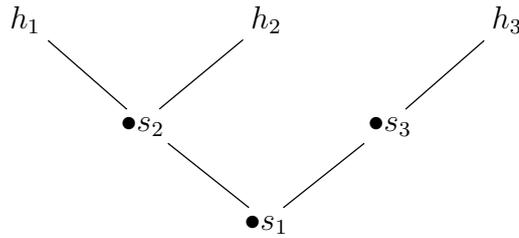


Рис. 1: Древовидная модельная структура BTS и NEXT-семантики.

Следует обратить внимание, что R_X , как и отношение $<$, антисимметрично, транзитивно и антирефлексивно.

Отношение R_\square указывает общее статическое состояние s для историй h, h' : $\langle s, h \rangle R_\square \langle s, h' \rangle$ означает, что истории h и h' проходят через одно и то же статическое состояние s ; s тогда для h и h' является *общим предком*. Для древовидной структуры с рисунка 1 R_\square будет содержать в том числе² пары динамических состояний: $\{(\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_1, h_2 \rangle), (\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_1, h_3 \rangle), (\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_1, h_1 \rangle), \dots\}$. Заметим, что R_\square содержит пару $(\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_1, h_1 \rangle)$, и ей аналогичные пары для прочих динамических состояний, что говорит о том, что R_\square рефлексивно: для любой истории h верно, что h имеет общего предка с h . Кроме этого, R_\square транзитивно и симметрично.

Отношение R_A , называемое также отношением (множеством отношений) эффективности, упорядочивает определенным образом множество последующих состояний для агента (или группы агентов) A , так что его элементами выступают множества множеств пар динамических состояний, каждое из которых

²Мы перечислим только те динамические состояния в R_\square , которые образуют пары с динамическим состоянием $\langle s_1, h_1 \rangle$.

ассоциируется с тем или иным возможным выбором для A . Так как R_A определяется как композиция R_X и R_\square , то, на основании заданных выше древовидной структуры $S \times H$ и отношений “последующий элемент” и “общий предок”, можно задать элементы данной композиции: $R_A = \{(\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_2, h_1 \rangle), (\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_2, h_2 \rangle), (\langle s_1, h_2 \rangle, \langle s_2, h_1 \rangle), (\langle s_1, h_2 \rangle, \langle s_2, h_2 \rangle), (\langle s_1, h_3 \rangle, \langle s_3, h_3 \rangle)\}$.

Модельную структуру $NEXT$ -семантики и отношения на ней удобно представлять в классическом виде с помощью графа, точки которого обозначают миры с индексами $s_1/h_1, \dots$, а ребра-стрелки — отношения между мирами. Тогда, указанное выше R_A задает граф следующего вида: см. рисунок 2.

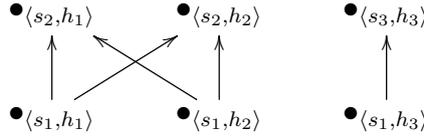


Рис. 2: Отношение $R_A \subseteq R_X \circ R_\square$ на $S \times H$.

Исходя из данного рисунка видно, что множество последующих динамических состояний $\{\langle s_2, h_1 \rangle, \langle s_2, h_2 \rangle, \langle s_3, h_3 \rangle\}$ разбивается R_A так, что $\langle s_2, h_2 \rangle$ и $\langle s_2, h_1 \rangle$ оказываются следствием выбора агентом, осуществляемого им из $\langle s_1, h_1 \rangle$ или из $\langle s_1, h_2 \rangle$, а $\langle s_3, h_3 \rangle$ оказывается следствием выбора, осуществляемого из $\langle s_1, h_3 \rangle$.

Наконец, композиция $R_\emptyset \subseteq R_\square \circ R_X$ задает множество всех отношений, в рамках которых могут действовать агенты. Для заданного выше отношения $S \times H$ R_\emptyset можно представить в виде следующего графа: см. рисунок 3.

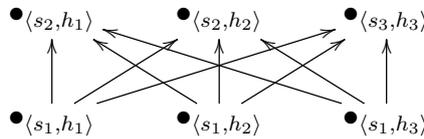


Рис. 3: Отношение $R_\square \circ R_X$ на $S \times H$.

Здесь каждому динамическому состоянию $\langle s, h \rangle$, такому, что s является настоящим состоянием, соответствует множество всех состояний $\langle s', h' \rangle$, таких, что s' является следующим за s состоянием. Отношение $R_\square \circ R_X$, следовательно, не предполагает разбиения множества последующих состояний, так как любое последующее состояние “достижимо” из любого настоящего состояния.

Модель \mathbf{M} образуется на основе модельной структуры S , как обычно, присоединением к S функции означивания v , которая ставит в соответствие формулам языка \mathbf{L}_{Xstit} значения \top и \perp относительно индексов из $S \times H$.

Определение 1.3 (Истинность в \mathbf{M} .) Условия истинности формул языка \mathbf{L}_{Xstit} определяются следующими правилами:

1. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models p$ е. т. е. $\langle s, h \rangle \in v(p)$;
2. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models \neg\phi$ е. т. е. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \not\models \phi$;

3. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models \phi \wedge \psi$ е. т. е. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models \phi$ и $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models \psi$;
4. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models X\phi$ е. т. е. существует такой индекс $\langle s', h' \rangle$, что $\langle s, h \rangle R_X \langle s', h' \rangle$ и $\mathbf{M}, \langle s', h' \rangle \models \phi$;
5. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models \Box\phi$ е. т. е. для каждого индекса $\langle s', h' \rangle$, такого, что $\langle s, h \rangle R_\Box \langle s', h' \rangle$ имеет место $\mathbf{M}, \langle s', h' \rangle \models \phi$;
6. $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models [A]\phi$ е. т. е. для всех индексов $\langle s', h' \rangle$, таких, что $\langle s, h \rangle R_A \langle s', h' \rangle$ имеет место $\mathbf{M}, \langle s', h' \rangle \models \phi$.

Проиллюстрируем условие истинности агентной формулы $[A]\phi$, данное в п. 6 определения 1.3. Для этого снова воспользуемся множеством $S \times H$, заданным выше. Пусть существует такая модель \mathbf{M} , что $\mathbf{M}, \langle s_1, h_1 \rangle \models [A]\phi$. Это верно только в том случае, если формула ϕ выполняется относительно всех тех индексов, которые связаны с индексом $\langle s_1, h_1 \rangle$ отношением эффективности R_A . В данном случае к числу таких индексов принадлежат $\langle s_2, h_1 \rangle$ и $\langle s_2, h_2 \rangle$. Тогда, $\mathbf{M}, \langle s_1, h_1 \rangle \models [A]\phi$ е. т. е. $\mathbf{M}, \langle s_2, h_1 \rangle \models \phi$ и $\mathbf{M}, \langle s_2, h_2 \rangle \models \phi$, см. рисунок 4.

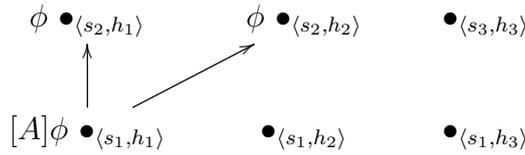


Рис. 4: Условия истинности $[A]\phi$ в $\langle s_1, h_1 \rangle$.

1.2 Сходства и отличия BTS и NEXT-семантики

Более пристальное рассмотрение BTS и NEXT-семантики обнаруживает между ними ряд интересных сходств и различий.

Работа функции выбора. В BTS выбор агента, представленный в языке объекте, в основном, с помощью *dstit*- или *cstit*- операторов, предполагает такое разбиение множества историй $H_{(m)}$, где каждая история $h \in H_{(m)}$ проходит через настоящий момент m . В случае NEXT-семантики, действие агента A предполагает разбиение множества последующих состояний s' , связанных с настоящим состоянием s отношением R_A .

Эта особенность NEXT-семантики, как замечено в Venhem, Pasuit, 2014, обнаруживает точку соприкосновения двух формальных традиций изучения логики действий, т. е. собственно STIT-логики, использующей NEXT-семантику, и семейства динамических логик, оформившегося из AGM-подхода. В NEXT-семантике, как и в пропозициональной динамической логике (PDL), действие рассматривается как отношение на множестве состояний, связывающее настоящее и последующее состояния; результат действия, в обоих случаях, ассоциируется с истинностным набором значений формул в последующем состоянии. Отметим также, что синтаксически логика действий, использующая NEXT-семантику, также близка к PDL: формулу $[A]\phi$ можно рассматривать как вариацию базовой формулы PDL $[\pi]\phi$, которая говорит о том, что формула ϕ

истинна в некотором состоянии x , е. т. е. ϕ истинна во всех состояниях, достижимых из x благодаря реализации программы π .

Способ представления дополнительных условий, накладывающих ограничения на модельные структуры. Принцип “отсутствие выбора между неразделенными историями” (“no choice between undivided histories”), использовавшийся в BTS в качестве неформализованного правила, которое учитывалось исследователем при определении значений формул на моделях, в *NEXT*-семантике закреплен в виде положения $R_X \circ R_{\Box} \subseteq R_A$ и соответствующей ему аксиомы $[A]\phi \leftrightarrow X\Box\phi$. Данная аксиома утверждает равносильность формулы ϕ , истинной в последующем состоянии s' относительно всех историй, проходящих через s' , и формулы, указывающей на то, что ϕ было выбрано к осуществлению группой агентов A в предшествующем состоянии s' состоянии s .

Предположим, что агент A делает выбор между осуществлением ϕ и отказом от осуществления ϕ так, как это представлено на рисунке 4. Рассматриваемая аксиома утверждает, что в том случае, если A в статическом состоянии s_1 выберет статическое состояние s_2 , то ϕ будет истинна относительно $\langle s_2, h_1 \rangle$ и относительно $\langle s_2, h_2 \rangle$. В самом деле, определения отношений R_{\Box} и R_X гарантируют, в этом случае, истинность ϕ относительно всех историй, проходящих через статическое состояние s_2 . Особо отметим, что подобное положение дел обусловлено свойством рефлексивности отношения R_{\Box} . В противном случае, если бы R_{\Box} не обладало этим свойством, то среди пар, образованных R_{\Box} , не было бы пары $(\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_2, h_1 \rangle)$, и истории h_1 и h_2 оказались бы разобщены в s_2 .

Различная интерпретация оператора “исторической необходимости” \Box в отношении неагентных формул. В BTS истинность $\Box\phi$ относительно индекса m/h означает, что ϕ истинна во всех историях, проходящих через момент m , вне зависимости от того, какому разбиению внутри m принадлежат эти истории. Напротив, в *NEXT*-семантике истинность $\Box\phi$ в отношении $\langle s, h \rangle$ говорит о том, что ϕ истинна во всех историях, проходящих через состояние s ; в отношении любого другого состояния s' , являющегося, наряду с s , разбиением текущего момента, ϕ может быть как истинной, так и ложной.

Более того, так как каждая история в *NEXT*-семантике ассоциируется с бесконечным множеством историй (а каждое статическое состояние s — с бесконечным множеством динамических состояний $\langle s, h_1 \rangle, \langle s, h_2 \rangle, \dots, \langle s, h_n \rangle$), то истинность ϕ в отношении $\langle s, h_1 \rangle$ может рассматриваться как истинность и в отношении всех прочих динамических состояний $\langle s, h_2 \rangle, \dots, \langle s, h_n \rangle$. Это соображение находит свое воплощение в аксиоме $\phi \rightarrow \Box\phi$, распространяющейся только на те формулы, в которых не встречаются *STIT*-операторы. Подробнее об этом см. в Broersen, 2009, pp. 4–5.

1.3 Делиберативность *Xstit*

Автор *Xstit*-оператора в статье [ibid.](#) предлагает формулу, которая сближает *Xstit*- и стандартный *dstit*-оператор, в том отношении, что формулы с *Xstit*-, точно так же, как и формулы с *dstit*-, могут указывать на те действия агента A по выполнению ϕ , отсутствие которых с необходимостью повлекло бы $\neg\phi$ в

некотором последующем статическом состоянии. В определении

$$[A \text{ dstit}] \phi \equiv_{def} [A] \phi \wedge \neg \Box X \phi$$

говорится о том, что из $Xstit$ -оператора можно получить делиберативный оператор,³ если задать дополнительное семантическое условие, такое, что ϕ не является необходимо истинной формулой в следующих состояниях. Второй конъюнкт правой части определения здесь играет роль отрицательного условия истинности $dstit$ -оператора, так как оно представлено в BTS.

В рассуждении ниже мы попытаемся показать, что делиберативность присуща $Xstit$ -оператору изначально, и данное определение является в силу этого скорее всего излишним. Предположим, что добавление условия $\neg \Box X \phi$ лишь расширяет выразительные возможности $Xstit$ -, а не говорит о его неотъемлемом свойстве. Тогда может быть так, что следствием истинности $[A] \phi$ в некотором индексе $\langle s_1, h_1 \rangle$, в некоторой модели \mathbf{M} (для наглядности мы отсылаем читателя к модели, представленной на рисунке 5), является ϕ , истинная в \mathbf{M} относительно всех последующих состояний (то есть — относительно индексов $\langle s_2, h_1 \rangle$, $\langle s_2, h_2 \rangle$ и $\langle s_3, h_3 \rangle$). Этот факт может быть отражен в следующей формуле

$$[A] \phi \rightarrow \Box X \phi.$$

Тогда, на основании положения $\Box X \phi \leftrightarrow [\emptyset] \phi$ (Broersen, 2011b, p. 507), A объявляется пустым множеством агентов, которые, в действительности, не обладают возможностью выбора, так как в этом случае, возможен только один единственный переход в множество следующих состояний, а именно — такой, где всюду имеет место ϕ . Другими словами, в ситуации, когда $[A] \phi$ влечет $\Box X \phi$, A теряет возможность выбора и, значит, теряет свое свойство агентности.

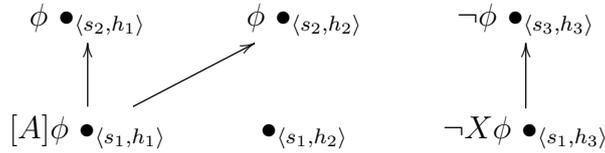


Рис. 5: “Отрицательное” условие для $[A] \phi$.

Отсюда, если имеет место в некоторой \mathbf{M} и в некотором $\langle s, h \rangle$ формула $[A] \phi$, где $A \neq \emptyset$, то ϕ должна быть истинной относительно лишь некоторых последующих состояний. Значит в \mathbf{M} должна найтись такая пара $\langle s', h' \rangle$, относительно которой верно, что $\neg \phi$. Таким образом, хотя об этом и не говорится явно в соответствующем семантическом определении, $Xstit$ -, имплицитно, предполагает выполнение аналога отрицательного условия для классического делиберативного $stit$ -оператора. Мы допускаем дискуссионность данного положения и до времени воздерживаемся от его использования в последующих рассуждениях.

³Делиберативность — от английского глагола *to deliberate* — обдумывать, и, в большей степени, от английского прилагательного *deliberative* — намеренный, продуманный. Действие по выбору ϕ является делиберативным, если при условии, когда выбор ϕ не имеет места, возможно такое развитие событий, что $\neg \phi$.

Также, в связи с этим, небезынтересно будет указать на то, что идея *NEXT*-семантики, согласно которой результаты действия, предпринятого в некотором настоящем состоянии s , обнаруживаются в последующем состоянии s' , не является, строго говоря, новой идеей. В условиях истинности формул с *astit*-оператором (широко применявшимся, как основной инструмент анализа, в формальной философии действия до середины 90-х, когда он был вытеснен *dstit*-и открытым заново *cstit*-операторами) мы можем видеть пару моментов w и m , такую что $w < m$, при том, что w рассматривается как настоящий момент принятия решения агентом об осуществлении некоторого действия, а m — как последующий момент реализации намеченного. Осуществленный в некотором прошлом моменте выбор агента A , в случае с *astit*-, приводит к разбиению множества настоящих моментов; сходным образом при *Xstit*-действии, выбор, осуществленный в s , дает в качестве следствия разбиение множества следующих за s состояний.

Это наблюдение, вместе с замечанием о предполагаемой делиберативности *Xstit*-, сближает два оператора настолько, что делает их поведение, интерпретируемое на древовидных структурах практически идентичным друг другу.

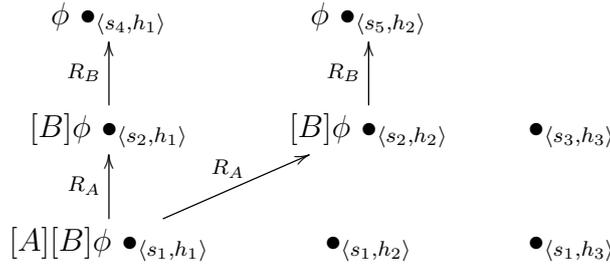
2 Перформативы в NEXT-семантике

По одному старому предположению Белнапа и Перлофа, впервые, насколько нам известно, появившемуся в Belnap, Perloff, 1993, побуждение к действию одного агента другим, осуществляемое, например, через произнесение перформативного высказывания, может быть представлено с помощью формулы с вложением нескольких *stit*-операторов. Например, перформативное высказывание “Вы будете следить за своей женой” и соответствующее ему положение дел, которое можно описать предложением “Кардинал Ришелье заставил Жака-Мишеля Бонасье согласиться шпионить за своей женой”, можно задать следующей формулой

[Ришелье *astit*: [Бонасье *astit*: шпионить за женой]]⁴.

Это предположение однако, несмотря на то, что оно согласовывается с интуицией в отношении убеждающего воздействия агентов, вступает в противоречие с определениями для *astit*-формул, заданными в рамках BTS. Со ссылкой на более раннюю работу Б. Челласа (Chellas, 1992), Белнап и Перлоф также обращают внимание на то, что для подобных вложенных формул не удастся найти модель. (Заметим, что для обсуждаемой формулы модель не удастся найти не в том смысле, что любое ее означивание на модельной структуре дает противоречие, а в том смысле, что саму модельную структуру для данной формулы невозможно представить корректным образом: каждое предположение о взаимоположении моментов выбора для действий агента-автора перформатива и агента-адресата перформатива вступает в противоречие с основными определениями BTS.) Для вложенных формул с одним *astit*-оператором (например

⁴Пример заимствован нами из Belnap, Perloff, 1993.

Рис. 6: Модель для $[A][B]\phi$.

для $[\alpha \text{ astit}][\beta \text{ dstit}]\phi$ существует модельная структура, но снова отсутствует модель: отрицательное условие для *dstit*-подформулы вложенной формулы оказывается невыполнимо. Попытка использовать *cstit*-оператор, для которого не требуется выполнение отрицательного условия, и формулу $[\alpha \text{ astit}][\beta \text{ cstit}]\phi$, также не дает положительного результата, так как в этом случае для агента β моделью не учитывается возможность уклониться от выполнения ϕ .

Напротив, поиск модельной структуры для интерпретации вложенной формулы с *Xstit*-операторами в рамках NEXТ-семантики, равно как и описание соответствующей модели, не представляют, на первый взгляд, сколько-нибудь сложную задачу: см. Вроерсен, 2009, р. 9, где обсуждается, в контексте дискуссии о независимости агентов друг от друга, формула $[A][B]\phi$.

Тем не менее, формулу $[A][B]\phi$ нельзя рассматривать как выражение побуждающего воздействия одного агента на другого, так как агент B здесь свое свойство агентности: он вынужден поступать так, как ему “велит” поступать агент A и не в силах руководить своим поведением. Действительно, в результате осуществления агентом A действия, такого что $[B]\phi$, $[B]\phi$, как это видно на рисунке 6, оказывается истинной во всех индексах, связанных с начальным индексом $\langle s_1, h_1 \rangle$ отношением R_A .

R_A , в данном случае, включает в себя следующие пары: $(\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_2, h_2 \rangle)$ и $(\langle s_1, h_1 \rangle, \langle s_2, h_1 \rangle)$. Тогда условия истинности $[B]\phi$ должны выполняться относительно всех значений, выдаваемых R_A : как это следует из модельной структуры на рисунке 6, где показана реляционная структура, учитывающая последовательность осуществления действий агентами A и B ,

$\langle s_2, h_2 \rangle \models [B]\phi$ е. т. е. $\langle s_5, h_2 \rangle \models \phi$, где $\langle s_2, h_2 \rangle R_B \langle s_5, h_2 \rangle$ и

$\langle s_2, h_1 \rangle \models [B]\phi$ е. т. е. $\langle s_4, h_1 \rangle \models \phi$, где $\langle s_2, h_1 \rangle R_B \langle s_4, h_1 \rangle$.

У агента B , таким образом, в статическом состоянии s_2 (в множестве динамических состояний $\{\langle s_2, h_2 \rangle, \langle s_2, h_1 \rangle\}$), в котором он или она оказывается по причине действия агента A , нет возможности выбрать такое следующее динамическое состояние, в котором бы имело место $\neg\phi$. Это означает что агент B теряет возможность уклониться от выполнения действия по осуществлению ϕ .

И все же, осуществление перформативного высказывания можно фиксировать с помощью вложенных *stit*-формул, если предположить, что оно всегда некоторым образом изменяет набор обязательств агентов, как адресата, так и адресанта перформатива: то, что было не обязательно к исполнению для Бона-

сье, становится таковым после приказа кардинала. Следствие осуществления перформатива в деонтической “картине мира” может быть зафиксировано с помощью вложенной формулы

$$[\text{Ришелье}] \circ [\text{Бонасье}] \text{ шпионить за женой},$$

где $\circ[\text{Бонасье}] \text{ шпионить за женой}$ означает “обязательно так, что Бонасье шпионит за своей женой”. Для того, чтобы интерпретировать такого рода формулы в NEXT-семантике, необходимо ввести дополнительные определения.

2.1 \circ -оператор и NEXT-семантика

Для определения условий истинности формулы, выражающей обязательство агента A по выполнению ϕ , удобно воспользоваться идеями из области динамической деонтической логики, представленными впервые в *A different approach to deontic logic: Deontic logic viewed as a variant of dynamic logic*, 1988. Обязательство по выполнению ϕ определяется Мейером как запрет на выполнение $\neg\phi$: $\circ\phi \equiv_{def} F\neg\phi$. $F\neg\phi$ имеет место в некотором мире w т. и т. т., когда во всех мирах w' , достижимых из мира w через осуществление $\neg\phi$ (то есть, фактически, через осуществление уклонения от такого действия, что ϕ), будет иметь место некоторая санкция, наказание или неприятность V . Таким образом, ϕ обязательно, е. т. е. уклонение от исполнения ϕ влечет санкцию V .

Эту идею, практически без изменений, можно встретить в Broersen, 2009:

$$\circ[A]\phi \equiv_{def} \Box(\neg[A]\phi \rightarrow [A]V).$$

Знак \Box в правой части определения указывает на то, что санкция V за невыполнение ϕ наступает в любой из возможных историй, проходящих через настоящее статическое состояние s и открытых для выбора. Отметим, что уклонение агентом A от выполнения ϕ , выраженное через $\neg[A]\phi$, заставляет обратить на себя внимание в связи с соображениями о наилучшем способе выражения “отрицания” действия, изложенными в Belnap, 1991a и Horty, Belnap, 1995. Предположительно, формулу уклонения, данную в этих статьях для *astit*- и *dstit*-, можно использовать и в отношении *Xstit*-оператора. (Это тем более справедливо, если при этом принимать в расчет, как об этом говорилось выше, делиберативность *Xstit*-оператора.) Формула $\neg[A]\phi$, напротив, может означать, в таком случае, что ϕ имеет место во всех индексах (мирах), достижимых из данного мира через отношение $R_{\Box} \circ R_X$. Такое положение дел не должно грозить санкцией V агенту A , так как ϕ , назначенное к исполнению, уже имеет место во всех последующих состояниях. (Кроме того, в предложенной формуле, ассоциирующей обязательства с санкцией, наступающей в случае их невыполнения, по умолчанию принимается, что эта санкций реализуется тем же самым агентом, на кого возлагаются обязательства, что является, на наш взгляд, чрезмерным упрощением: обычно, дела обстоят так, что отказ от выполнения ϕ агентом B влечет санкцию $[A]V$.)

Альтернативная интерпретация обязательств, основанная на классических, нединамифицированных, понятиях стандартной деонтической логики (SDL) дается в Horty, 2001. Так, формула $\circ\phi$ признается истинной в мире w е. и т. е. ϕ

истинна во всех мирах w' , таких, что wR_ow' , где R_o является серийным (serial) отношением достижимости, и всякому миру w ставит в соответствие хотя бы один “идеальный” или “деонтически совершенный” мир w' . Хорти использовал эту идею в определении формул типа $\bigcirc[Adstit]\phi$ в рамках BTS. Мы покажем, что серийное отношение R_o можно применить и для определения условий истинности формул типа $[A]\phi$ в NEXT-семантике.

Пусть $\langle s, h \rangle R_o \langle s', h' \rangle$ имеет место, е. т. е. $s = s'$, и каждая h' есть “деонтически идеальная” история. Тогда условия истинности агентной формулы с \bigcirc -оператором можно сформулировать следующим образом:

Определение 2.1 $\mathbf{M}, \langle s, h \rangle \models \bigcirc[A]\phi$ е. т. е. $\langle s', h' \rangle \models [A]\phi$ для каждого индекса $\langle s', h' \rangle$, такого, что $\langle s, h \rangle R_o \langle s', h' \rangle$.

Технически формулы $[A]\phi$ и $\bigcirc[A]\phi$ отличаются друг от друга тем, что первая из них, при реализации функции эффективности, сначала “переключает” состояние с s на s' на данной истории h , а затем, в отношении последующего выбранного состояния s' , — историю h , меняя ее на h' (причем, как мы указывали ранее, может быть так, что $h = h'$). Формула $\bigcirc[A]\phi$, напротив, позволяет сначала, в отношении данного состояния s , “переключать” историю с h на h' , а затем, в выбранной новой истории двигаться вверх, к следующему состоянию s' , при этом сохраняя возможность для A , уже в отношении s' , еще одного переключения истории, причем такого, что новая выбранная A история h'' может не совпадать с историей h' .

Проясним работу \bigcirc -оператора на примере формулы $[A] \bigcirc [B]\phi$. Для этого воспользуемся модельной структурой, представленной на рисунке 7.

Пусть $[A] \bigcirc [B]\phi$ истинна относительно индекса $\langle s_1, h_1 \rangle$. Тогда, по определению 1.3, $\bigcirc[B]\phi$ истинна относительно всех индексов, связанных с $\langle s_1, h_1 \rangle$ отношением R_A . К этим индексам принадлежат: $\langle s_2, h_1 \rangle$ и $\langle s_2, h_2 \rangle$. Формула $\bigcirc[B]\phi$ истина в $\langle s_2, h_1 \rangle$ т. и т. т., когда $[B]\phi$ истинна в отношении всех индексов, связанных с $\langle s_2, h_1 \rangle$ отношением R_o . Пусть R_o в качестве идеальной деонтической истории указывает на историю h_2 , помеченную на рисунке знаком “ \star ”⁵. Тогда, $\bigcirc[B]\phi$ истина в $\langle s_2, h_1 \rangle$ и в $\langle s_2, h_2 \rangle$, когда $[B]\phi$ истинна в $\langle s_2, h_2 \rangle$. Последнее имеет место в том случае, когда ϕ истинна в $\langle s_5, h_2 \rangle$, т. е. относительно единственного индекса, связанного с $\langle s_2, h_2 \rangle$ отношением R_B .

Сравнивая эту модель с моделью для формулы не содержащей \bigcirc -оператора (представленной на рисунке 6), нетрудно видеть, что там формула $[B]\phi$, истинная в отношении индексов $\langle s_2, h_1 \rangle$ и $\langle s_2, h_2 \rangle$, дает формулу ϕ , истинную, в отличие от только что рассмотренной ситуации с $[A] \bigcirc [B]\phi$, относительно сразу двух индексов: $\langle s_4, h_1 \rangle$ и $\langle s_5, h_2 \rangle$.

Указанная разница в поведении двух формул существенна в ситуации, когда мы интерпретируем такие вложенные формулы, которые описывают результаты воздействия одного агента на другого в деонтической области. В случае $[A][B]\phi$ агент B , как мы отмечали ранее, теряет возможность воздержаться от

⁵Строго говоря, знаком “ \star ” на рисунке помечено динамическое состояние, образованное следующим за s_2 моментом s_5 , и идеальной деонтической историей h_2 , которая проходит через s_5 .

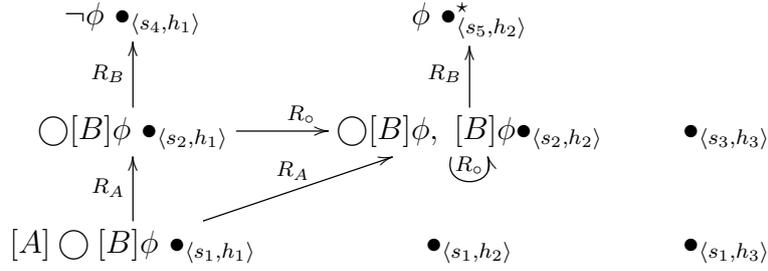


Рис. 7: Модель для $[A] \circ [B]\phi$.

осуществления ϕ . Однако, это возможность сохраняется за ним или за ней в случае формулы $[A] \circ [B]\phi$.

2.2 Уклонение от исполнения обязательств

Теперь, когда выяснены принципы работы операторов $[A]$, \square , \circ и X , мы можем исследовать некоторые свойства агентов, отдающих и получающих команды. Выше мы уже обращали внимание на то, что уклонение агента B от осуществления назначенного ему к исполнению агентом A некоторого ϕ , скорее всего, выражается несколько более сложной формулой, чем просто $\neg[A]\phi$. Если предположить, что в некотором текущем статическом состоянии s' , таком, что $s < s'$, агент A отдает команду B на выполнение ϕ , решение о которой было принято в состоянии s , то B принимает решение о выполнении ϕ в s' и выполняет ϕ в s'' , таком, что $s' < s''$. В таком случае, минимальная модельная структура, на которой получают свое значение формула, выражающая команду, и формула, ответственная за выражение возможности уклонения от того, что было командовано, должна быть представлена тройкой статических состояний: текущим, последующим и последующим последующего. В классических статьях по *stit*-логике, где теме уклонения (refraining) всегда уделялось много внимания (см., например, Belnap, 1991b), действие агента A , связанное с воздержанием от выполнения ϕ , выражалось через формулу $[A]\neg[A]\phi$. Однако, использование этой формулы вместе с $[A] \circ [B]\phi$ делает исполнение ϕ агентом B невозможным: $[B]\neg[B]\phi$ указывает на то, что во всех динамических состояниях, доступных из данного динамического состояния $\langle s, h \rangle$, будет иметь место $\neg[B]\phi$, что, в действительности, противоречит $[B]\phi$, истинной в индексе $\langle s_2, h_2 \rangle$ (следствию из $[A] \circ [B]\phi$). (Мы предлагаем читателю самостоятельно построить модель для этого случая, взяв за образец модель, представленную на рисунке 7.)

Возможность агента B не осуществлять ϕ можно представить с помощью формулы $\langle B \rangle X\neg\phi$, где $\langle B \rangle$ есть двойственная по отношению к $[B]$ модальность: $\langle B \rangle \equiv_{def} \neg[B]\neg\phi$. На рисунке 8 представлена модель для формул $[A] \circ [B]\phi$ и $\langle B \rangle X\neg\phi$, где видно, что B , получая возможность в $\langle s_1, h_1 \rangle$ сделать так, что в следующем за состоянием s состоянии s_2 (на истории h_1 или на истории h_2) будет иметь место $X\neg\phi$. Формула $X\neg\phi$, истинная, в $\langle s_2, h_1 \rangle$, дает $\neg\phi$, истинную в $\langle s_4, h_1 \rangle$; $X\neg\phi$, истинная, в $\langle s_2, h_2 \rangle$, дает $\neg\phi$, истинную в $\langle s_5, h_2 \rangle$. Таким образом, $\langle B \rangle X\neg\phi$ раскрывает для B возможность поступить так, как он или она считает нужным, — в соответствии с командой A или вопреки этой команде. При

этом, действие “вопреки” может быть реализовано в том числе в деонтически идеальной истории h_2 ($\neg\phi$, истинная в $\langle s_5, h_2 \rangle$).⁶

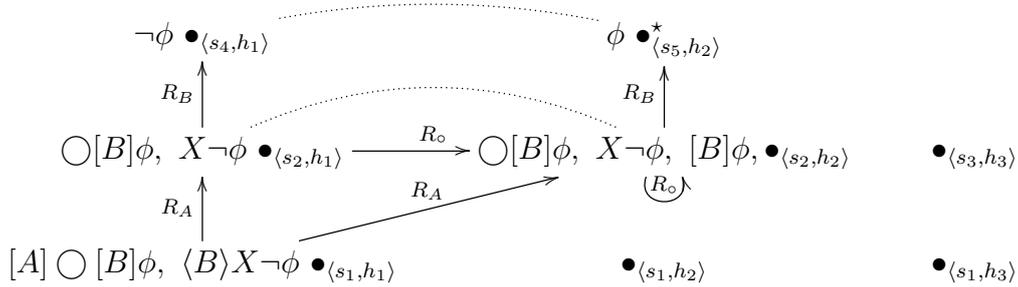


Рис. 8: Уклонение для агента B при $[A] \circ [B]\phi$.

3 Заключительные замечания

Проведенное исследование показало, что сегодня *STIT*-логика не только сохранила свою ведущую позицию среди формальных подходов, применяемых для анализа различных видов агентности, но и упрочила свое среди них положение тем, что явно обнаружила в последнее время некий синтетический потенциал, а именно — возможность говорить языками других, в прошлом конкурирующих с ней, подходов об агентности, и выражать свои собственные идеи средствами этих языков. Дискуссионный вопрос о делиберативности *XSTIT*-оператора видится нам как раз одним из таких воплощений идеи классической *STIT*-логики, фиксированным современными средствами. С другой стороны, сравнение классической семантики, используемой в *STIT*-подходе, и современной семантики, предложенной для агентных *stit*-формул несколько лет назад, показало ряд преимуществ последней. Бóльшая глубина формализации, затрагивающая в том числе то, что до сих пор было выражено лишь неформально (в качестве проговариваемого в языке исследователя дополнительного условия) и отсутствие двусмысленности, порождаемой в классической *STIT*-логике отношением частичного порядка на множестве моментов времени, в которые агенты принимают решение о совершении действия, выгодно отличают сегодняшнюю *STIT*-логику с агентными формулами, получающими значение в следующем моменте времени, от ее прародительницы, разработанной Белнапом.

Мы убедились в том, что обновленная *STIT*-логика предоставляет достаточные средства для исследований императивной агентности. Начало им было положено путем введения в язык *STIT*-логики деонтического оператора “ \circ ”, трактуемого в духе Хорти. Предложенная нами, на его основе, формула $[A] \circ [B]\phi$ описывает результат осуществления императивов в области обя-

⁶Заметим, что формула $X\langle B \rangle \neg\phi$, в ситуации, аналогичной той, что представлена на рисунке 8, открывает для B возможность выбора $\neg\phi$ только в одной истории h_1 (истинной в индексе $\langle s_4, h_1 \rangle$) и не позволяет открыто пренебречь командой A — сделать так, что в деонтически идеальной истории h_2 выполняется $\neg\phi$. Вероятно, $\langle B \rangle X \neg\phi$ и $X \langle B \rangle \neg\phi$ выражают различные степени уклонения, доступные для B после осуществления команды на выполнение ϕ .

зательств агентов и является базовым элементом для ряда положений, выражающих существенные свойства императивов. К ним, в частности, относится рассмотренное нами положение об уклонении от осуществления назначенного к осуществлению через императив. Сверх того, мы предполагаем возможность обоснования валидности положений, аналогичных правилу отделения, например такого: $([A](\psi \rightarrow \bigcirc[B]\phi) \wedge [A]\psi) \rightarrow X \bigcirc [B]\psi$, где утверждается что в последующем моменте агент B связывается обязательством по реализации такого положения дел, что ϕ , тогда, когда агент A сначала назначает агенту B к исполнению такое положение дел, что ϕ , при условии, что имеет место положение дел ψ , а затем реализует ψ . Это, равно как и все многообразие тем, связанных с коллективной императивной агентностью, с дальнейшей динамификацией и реализацией приложений новой *STIT*-логики — основа для дальнейшей работы и содержание дальнейших исследований.

Список литературы

- A different approach to deontic logic: Deontic logic viewed as a variant of dynamic logic / J.-J. C. Meyer et al. // Notre dame journal of formal logic. — 1988. — Vol. 29, no. 1. — Pp. 109–136.
- Balbani P., Herzig A., Troquard N. Alternative axiomatics and complexity of deliberative STIT theories // Journal of Philosophical Logic. — 2008. — Vol. 37, no. 4. — Pp. 387–406.
- Belnap N. Backwards and forwards in the modal logic of agency // Philosophy and phenomenological research. — 1991a. — Pp. 777–807.
- Belnap N. Before refraining: Concepts for agency // Erkenntnis. — 1991b. — Vol. 34, no. 2. — Pp. 137–169.
- Belnap N., Perloff M. In the realm of agents // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. — 1993. — Vol. 9, no. 1–2. — Pp. 25–48.
- Benthem J. van, Pacuit E. Connecting logics of choice and change // Nuel Belnap on Indeterminism and Free Action. — Springer, 2014. — Pp. 291–314.
- Broersen J. A logical analysis of the interaction between obligation-to-do and knowingly doing // Deontic Logic in Computer Science. — Springer, 2008. — Pp. 140–154.
- Broersen J. A complete stit logic for knowledge and action, and some of its applications // Declarative Agent Languages and Technologies VI. — Springer, 2009. — Pp. 47–59.
- Broersen J. Deontic epistemic stit logic distinguishing modes of mens rea // Journal of Applied Logic. — 2011a. — Vol. 9, no. 2. — Pp. 137–152.
- Broersen J. Making a start with the stit logic analysis of intentional action // Journal of philosophical logic. — 2011b. — Vol. 40, no. 4. — Pp. 499–530.
- Broersen J., Herzig A., Troquard N. Embedding Alternating-time Temporal Logic in Strategic Logic of Agency // Journal of Logic and Computation. — 2006. — Vol. 16, no. 5. — Pp. 559–578.
- Carmo J. Collective agency, direct action and dynamic operators // Logic Journal of IGPL. — 2010. — Vol. 18, no. 1. — Pp. 66–98.

- Chellas B. F.* Time and modality in the logic of agency // *Studia Logica*. — 1992. — Vol. 51, no. 3–4. — Pp. 485–517.
- Ciuni R., Horty J.* Stit Logics, Games, Knowledge, and Freedom // *Johan van Benthem on Logic and Information Dynamics*. — Springer, 2014. — Pp. 631–656.
- Ciuni R., Zanardo A.* Completeness of a branching-time logic with possible choices // *Studia Logica*. — 2010. — Vol. 96, no. 3. — Pp. 393–420.
- Horty J. F.* Agency and deontic logic. — Oxford University Press Oxford, 2001.
- Horty J. F., Belnap N.* The deliberative stit: A study of action, omission, ability, and obligation // *Journal of philosophical logic*. — 1995. — Vol. 24, no. 6. — Pp. 583–644.
- Kooi B., Tamminga A.* Moral conflicts between groups of agents // *Journal of Philosophical Logic*. — 2008. — Vol. 37, no. 1. — Pp. 1–21.
- Payette G.* Decidability of an xstit logic // *Studia Logica*. — 2014. — Vol. 102, no. 3. — Pp. 577–607.
- Wansing H.* Doxastic decisions, epistemic justification, and the logic of agency // *Philosophical Studies*. — 2006. — Vol. 128, no. 1. — Pp. 201–227.
- Xu M.* Axioms for deliberative STIT // *Journal of Philosophical Logic*. — 1998. — Vol. 27, no. 5. — Pp. 505–552.

Об авторе

Глеб Викторович **Карпов** — к. филос. н., ассистент кафедры логики института философии СПбГУ, glebsight@gmail.com.

NEXT-semantics for Imperative Agency

Gleb Karpovⁱ

ⁱSt-Petersburg State University

Abstract: This paper is concerned with the issue of the comparison of branchingtime semantics (BTS) that is used in classical STIT-logic with an alternative NEXT-semantics for STIT. Research that was carried out supported the view that NEXT-semantics as well as BTS can be used to model the deontic effects of imperatives (such as commands) produced by rational agents, and that NEXT-semantics has important advantages as compared to BTS when it is used in modeling imperative agency. The basic agent formula for describing imperatives via their deontic effect is proposed, and the refraining ability of an agent from fulfilling a command is investigated.

Keywords: STIT-logic, imperatives, deontic logic, relational semantics, BTS.

References

- Balbani, Philippe, Herzig, Andreas, and Troquard, Nicolas (2008). “Alternative axiomatics and complexity of deliberative STIT theories”. *Journal of Philosophical Logic*, vol. 37, no. 4, pp. 387–406.
- Belnap, Nuel (1991a). “Backwards and forwards in the modal logic of agency”. *Philosophy and phenomenological research*, pp. 777–807.
- (1991b). “Before refraining: Concepts for agency”. *Erkenntnis*, vol. 34, no. 2, pp. 137–169.
- Belnap, Nuel and Perloff, Michael (1993). “In the realm of agents”. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, vol. 9, no. 1-2, pp. 25–48.
- Bentham, Johan van and Pacuit, Eric (2014). “Connecting logics of choice and change”. In: *Nuel Belnap on Indeterminism and Free Action*. Springer, pp. 291–314.
- Broersen, Jan (2008). “A logical analysis of the interaction between obligation-to-do and knowingly doing”. In: *Deontic Logic in Computer Science*. Springer, pp. 140–154.
- (2009). “A complete stit logic for knowledge and action, and some of its applications”. In: *Declarative Agent Languages and Technologies VI*. Springer, pp. 47–59.

- Broersen, Jan (2011a). “Deontic epistemic stit logic distinguishing modes of mens rea”. *Journal of Applied Logic*, vol. 9, no. 2, pp. 137–152.
- (2011b). “Making a start with the stit logic analysis of intentional action”. *Journal of philosophical logic*, vol. 40, no. 4, pp. 499–530.
- Broersen, Jan, Herzig, Andreas, and Troquard, Nicolas (2006). “Embedding Alternating-time Temporal Logic in Strategic Logic of Agency”. *Journal of Logic and Computation*, vol. 16, no. 5, pp. 559–578.
- Carmo, José (2010). “Collective agency, direct action and dynamic operators”. *Logic Journal of IGPL*, vol. 18, no. 1, pp. 66–98.
- Chellas, Brian F (1992). “Time and modality in the logic of agency”. *Studia Logica*, vol. 51, no. 3-4, pp. 485–517.
- Ciuni, Roberto and Horty, John (2014). “Stit Logics, Games, Knowledge, and Freedom”. In: *Johan van Benthem on Logic and Information Dynamics*. Springer, pp. 631–656.
- Ciuni, Roberto and Zanardo, Alberto (2010). “Completeness of a branching-time logic with possible choices”. *Studia Logica*, vol. 96, no. 3, pp. 393–420.
- Horty, John F (2001). *Agency and deontic logic*. Oxford University Press Oxford.
- Horty, John F and Belnap, Nuel (1995). “The deliberative stit: A study of action, omission, ability, and obligation”. *Journal of philosophical logic*, vol. 24, no. 6, pp. 583–644.
- Kooi, Barteld and Tamminga, Allard (2008). “Moral conflicts between groups of agents”. *Journal of Philosophical Logic*, vol. 37, no. 1, pp. 1–21.
- Meyer, John-Jules Ch et al. (1988). “A different approach to deontic logic: Deontic logic viewed as a variant of dynamic logic”. *Notre dame journal of formal logic*, vol. 29, no. 1, pp. 109–136.
- Payette, Gillman (2014). “Decidability of an xstit logic”. *Studia Logica*, vol. 102, no. 3, pp. 577–607.
- Wansing, Heinrich (2006). “Doxastic decisions, epistemic justification, and the logic of agency”. *Philosophical Studies*, vol. 128, no. 1, pp. 201–227.
- Xu, Ming (1998). “Axioms for deliberative STIT”. *Journal of Philosophical Logic*, vol. 27, no. 5, pp. 505–552.

About author

Gleb V. **Karpov**, Assistant professor, Department of Logic, St-Petersburg State University, glebsight@gmail.com.