

Д.Н. БИРЮКОВ, А.Г. ЛОМАКО, Р.Б. ЖОЛУС
**ПОПОЛНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗНАНИЙ НА
ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ УМОЗАКЛЮЧЕНИЙ С УЧЕТОМ
СЕМАНТИКИ РОЛЕЙ**

Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Жолус Р.Б. Пополнение онтологических систем знаний на основе моделирования умозаключений с учетом семантики ролей.

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос, связанный с автоматическим пополнением онтологии ролями и концептами, формируемыми интеллектуальной системой, при предоставлении ей новых фактов. Осуществление указанных предвычислений позволяет повысить информационное содержание онтологии на этапе предварительной обработки потока поступающих данных.

Ключевые слова: интеллектуальная система, система знаний, онтология, правдоподобные умозаключения.

Biryukov D.N., Lomako A.G., Zhulus R.B. Ontological Knowledge System Completion Based on Modeling Inferences Taking into Account Role Semantics.

Abstract. The article considers the issue of automatic completion of ontology with roles and concepts formed by an intelligent system in the provision of new facts. Implementation of specified calculations allows increasing ontology information content during data stream preprocessing.

Keywords: intelligent system, knowledge system, ontology; plausible inferences.

1. Введение. В работе [1] предлагается наделить интеллектуальную систему (ИС) [2, 3] возможностью концептуально-логических преобразований над данными и знаниями в процессе эволюции ее многофункциональной памяти. В этой связи требуется найти возможности логического расширения, конструктивной типизации и смысловой агрегации потока поступающих данных, фактов и знаний с уже накопленными знаниями, представленными в онтологических слоях семантической памяти [4]. Последние хранятся в виде совокупности взаимосвязанных «Семантических Звеньев» (СЗ — два концепта, связанных ролью) [5], основные типы которых представлены в таблице 1, где $Fn: [X \rightarrow Y]$ — обозначение отношений между концептами типа X и концептами типа Y . Семантика используемых отношений представлена в поле «Описание СЗ» таблицы 1.

Вся совокупность СЗ представляет собой обобщенную онтологию тех предметных областей, в которых функционирует ИС. При этом абсолютно все концепты, входящие в различные СЗ и представленные в онтологии, должны быть иерархически связаны и принадлежать одному из частично упорядоченных множеств в базе {"Объекты" — "О", "Свойства" — "Р", "Действия" — "А"} [5].

При поступлении на вход ИС нового факта, ее система знаний посредством формально-логических умозаключений специального вида увязывает поступившие данные с уже построенной ранее онтологией.

Таблица 1. Основные типы семантических звеньев для онтологий произвольных предметных областей

Обозначение СЗ	Описание СЗ
$F11: [P \rightarrow P]$	Свойство аппроксимирует Свойство
$F12: [O \rightarrow O]$	Объект аппроксимирует Объект
$F13: [A \rightarrow A]$	Действие аппроксимирует Действие
$F2: [O \rightarrow P]$	Объект обладает Свойством
$F3: [P \rightarrow A]$	Свойство порождает способность к Действию
$F4: [A \rightarrow P]$	Действие пригодно для воздействия на Свойство
$F5: [A \rightarrow A]$	Действие следует за Действием
$F6: [O \rightarrow O]$	Объект состоит из Объекта
$F7: [A \rightarrow A]$	Действие состоит из Действия
$F8: [O \rightarrow O]$	Объект Производит Объект

2. Силлогистика как основа моделирования умозаключений.

Выбран подход к моделированию правдоподобных умозаключений над данными, представленными в онтологии, основанный на применении расширенной силлогистики.

В силлогистике исследуются различного рода логические отношения между категорическими атрибутивными высказываниями. В составе категорических атрибутивных высказываний выделяют кванторные слова, предикцирующие связки и термины. В каждом категорическом атрибутивном высказывании имеется два термина: *субъект* (α) — термин, обозначающий те предметы, о которых в высказывании что-либо утверждается или отрицается, и *предикат* (β) — термин, обозначающий то, что предикцируется, утверждается или отрицается об этих предметах.

Категорические атрибутивные высказывания по количеству делятся на единичные и множественные. Среди множественных выделяют общие (\forall) и частные (\exists) высказывания. По качеству рассматриваемые высказывания делятся на утвердительные и отрицательные.

Для осуществления классификации объектов, свойств, которыми обладают классифицируемые объекты (субъекты), а также действий (процессов) достаточно воспользоваться возможностями традиционной силлогистики, которая подразумевает, что все термины категорических атрибутивных высказываний при их интерпретации на не-

котором универсуме обязательно должны оказаться знаками таких свойств (классов), которые являются непустыми и неуниверсальными (в противном случае невозможно осуществить классификацию).

Известные законы силлогистики [6] (например: «Всякий S есть $P \models$ Некоторый S есть P », « $\models \neg$ (Всякий S есть P & Некоторый S не есть P)» и т.п., где « \models » — знак логического следования) вполне пригодны для их аксиоматического задания в системе знаний. Однако применение только этих законов, открывает лишь незначительную часть возможностей расширения знаний системы. Наибольший интерес представляют умозаключения, в которых от наличия некоторых отношений между терминами α и β и терминами γ и β , фиксируемых в посылках A_1 и A_2 , приходят к заключению о наличии определенного отношения между терминами α и γ . Такие умозаключения называют простым категорическим силлогизмом.

Общий термин β , содержащийся в посылках A_1 и A_2 в двухпосылочном умозаключении вида: $A_1, A_2 \vdash B$, связывает посылки и опосредует следование из них заключения B .

При формулировании простых категорических силлогизмов *меньшим* термином называют тот термин, который является субъектом заключения, *большим* — тот, который является предикатом заключения, а тот, который является общим термином — называют *средним* термином [6]. Посылку, содержащую меньший термин, называют *меньшей* посылкой, а посылку с большим термином — *большой* посылкой. Если помещать большую посылку на первое место, а меньшую — на второе (или под ней), то все простые категорические силлогизмы можно разделить по следующим четырем фигурам [6] (рисунок 1):

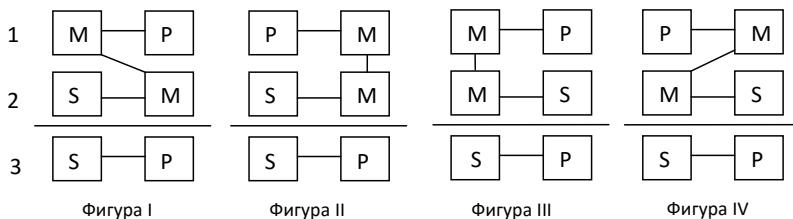


Рис. 1. Фигуры силлогизмов

На рисунке 1 цифрой «1» обозначается большая посылка, цифрой «2» — меньшая посылка, а цифрой «3» — заключение; «S» — меньший термин, «P» — больший, а «M» — средний термин («S» и «P» называют еще крайними терминами).

Если в фигуре указать тип высказываний (всего их четыре: *a*, *i*, *e*, *o* [6]), стоящих на местах посылок и заключения, то можно получить разновидность силлогизма по конкретной фигуре. Разновидности силлогизмов называются *модусами фигур*. В каждой фигуре имеется 64 модуса, т.е. по всем четырем фигурам можно построить 256 модусов из которых только 24 — правильных (правильными модусами называются такие модусы фигур, для которых между посылками и заключением существует отношение логического следования). Следует отметить, что проверять правильность силлогизмов можно как в рамках исчисления предикатов, так и в рамках логики предикатов. В то же время при реализации механизма осуществления правдоподобных умозаключений необходимо учитывать ограничения, накладываемые семантикой применяемых ролей (см. выше или [5]). В предложенной модели представления знаний присутствуют, например, такие роли как: *F5* (Действие следует за Действием), *F6* (Объект состоит из Объекта) и *F7* (Действие состоит из Действия), к которым нельзя применить правила, описываемые указанными выше фигурами.

При рассмотрении семантических конструкций, построенных на основе СЗ, содержащих роли «*Состоит из...*», следует учитывать, что в этом случае осуществляется описание процедуры членения предметов [6] (объектов, процессов), а не ограничения объема понятий, что влечет к невозможности прямого использования модусов силлогистики.

3. Моделирование умозаключений с учетом семантики ролей, используемых при построении онтологии. Для дальнейшего описания порядка моделирования рассуждений, осуществляемых на основе умозаключений с учетом семантики ролей, предлагается ввести понятие простейшей семантической конструкции (ПСК), которая предполагает возможность осуществления умозаключения. ПСК — пара семантических звеньев, имеющих в своем составе один общий концепт.

Можно утверждать, что рассмотрение правил построения сколь угодно сложных онтологий, а также правил осуществления правдоподобных умозаключений над знаниями, представленными в виде онтологии (путем применения семантических звеньев, типы которых приведены выше и в [5]), можно свести к рассмотрению правил построения простейших семантических конструкций, а также к рассмотрению правил осуществления правдоподобных умозаключений над ними (так как именно пара СЗ может участвовать в порождении новых знаний). Если учесть, что каждое СЗ характеризуется двумя концептами и ролью между ними, а также то, что если два СЗ взаимодействуют, то они должны иметь один общий концепт (случай, когда у двух звеньев попарно совпадают концепты, предлагается не рассматривать, так как он

не предполагает возможности осуществления логического вывода), тогда можно построить таблицу с возможными тройками концептов. Поскольку для построения онтологии предложено использовать всего три типа концептов («Объекты», «Свойства» и «Действия» [5, 7]), то и таблица возможных их комбинаций, состоящая из троек концептов, тоже будет небольшой — всего 27 вариантов. При этом каждый из вариантов требует отдельного рассмотрения, так как необходимо рассмотреть все возможные (допустимые) роли и их направления, а также комбинации кванторов. Фрагмент подобной таблицы приведен в таблице 2, где «К-т» — «Концепт», «О» – Объект, F_6 и F_{12} — соответствующие типы СЗ, а « \rightarrow » — направление Роли в СЗ.

При построении таблицы учитывались ниже приведенные положения.

1. Для обозначения «*Всякий A есть B* » (формальное обозначение: «*Роль*(\forall Концепт_1, Концепт_2)»), предлагается использовать стрелку с «закрашенным» указателем (рисунок 2):

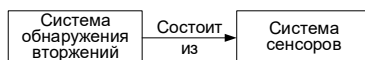


Рис. 2. Пример отображения конструкции типа: «*Всякий A есть B* »

Для обозначения «*Некоторый A есть B* » (формальное обозначение: «*Роль*(\exists Концепт_1, Концепт_2)») предлагается использовать стрелку с «полым» указателем (рисунок 3):

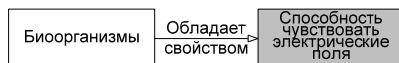


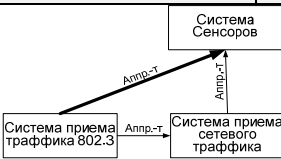
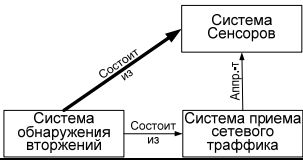
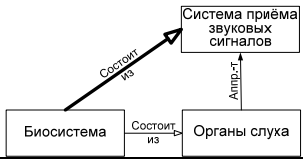
Рис. 3. Пример отображения конструкции типа: «*Некоторый A есть B* »

2. Отношение аппроксимации позволяет осуществлять деление определенного класса концептов на непересекающиеся подклассы относительно заранее выбранного основания, при этом каждый элемент подкласса должен аппроксимировать любой элемент класса, в противном случае классификация задана неверно. Ввиду этого следует считать, что случаи: $F_{11}(\exists P_1, P_2)$, $F_{12}(\exists O_1, O_2)$ и $F_{13}(\exists A_1, A_2)$ недопустимы, ибо подобные отношения не могут встретиться при работе с базой знаний в корректно работающей ИС (на основе предложенных моделей).

3. В исходных данных, в силу введенных выше типов семантических звеньев, не могут присутствовать некоторые звенья, например: « $O A$ », « $P O$ » и др.

В последующем при необходимости можно расширить перечень семантических звеньев. Добавление и удаление типов СЗ приведет к необходимости дополнения «таблицы логического вывода» (таблица 2).

Таблица 2. Фрагмент «таблицы логического вывода»

№	К-т №1	К-т №2	К-т №3	Примечание
	Направление ребра		Направление ребра	
1	O	O	O	
1.1	→		→	
1.1.1	F12		F12	
1.1.1.1	$O_1 \xrightarrow{(\forall)F12} O_2 \xrightarrow{(\forall)F12} O_3$			$F12(\forall O_1, O_2) \& F12(\forall O_2, O_3) \Rightarrow F12(\forall O_1, O_3)$  <p>Согласно определению, отношение аппроксимации транзитивно (из $x \sqsubseteq y \sqsubseteq z$ следует $x \sqsubseteq z$), а аппроксимируемые и аппроксимирующие классы — совместимы.</p>
1.1.1.2	$O_1 \xrightarrow{(\exists)F12} O_2 \xrightarrow{(\forall)F12} O_3$			$(\exists)F12$ — недопустимо
1.1.1.3	$O_1 \xrightarrow{(\forall)F12} O_2 \xrightarrow{(\exists)F12} O_3$			$(\exists)F12$ — недопустимо
1.1.1.4	$O_1 \xrightarrow{(\exists)F12} O_2 \xrightarrow{(\exists)F12} O_3$			$(\exists)F12$ — недопустимо
1.1.2	F6		F12	
1.1.2.1	$O_1 \xrightarrow{(\forall)F6} O_2 \xrightarrow{(\forall)F12} O_3$			$F6(\forall O_1, O_2) \& F12(\forall O_2, O_3) \Rightarrow F6(\forall O_1, O_3)$ <p><i>Утверждение:</i> Если $F6(\forall O_1, O_2) \& F12(\forall O_2, O_3)$ то $F6(\forall O_1, O_3)$.</p> <p>1. $WoO_2(o) \subseteq WoO_3(o)$, так как в данной теории T: $T \models \forall o(O_2(o) \supset O_3(o))$ и $T \not\models \forall o(O_3(o) \supset O_2(o))$ — согласно аксиоме аппроксимации;</p> <p>2. $(O_1 \xrightarrow{(\forall)F6} O_2) \sqsubseteq (O_1 \xrightarrow{(\forall)F6} O_3)$.</p> 
1.1.2.2	$O_1 \xrightarrow{(\exists)F6} O_2 \xrightarrow{(\forall)F12} O_3$			$F6(\exists O_1, O_2) \& F12(\forall O_2, O_3) \Rightarrow F6(\exists O_1, O_3)$ <p>Аналогично п.п. 1.1.2.1</p> 
1.1.2.3	$O_1 \xrightarrow{(\forall)F6} O_2 \xrightarrow{(\exists)F12} O_3$			$(\exists)F12$ — недопустимо
1.1.2.4	$O_1 \xrightarrow{(\exists)F6} O_2 \xrightarrow{(\exists)F12} O_3$			$(\exists)F12$ — недопустимо

4. Результатом взаимодействия двух семантических звеньев может стать конструкция, которая не предполагает образования никакого нового семантического звена (рисунок 4):

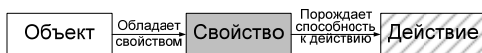


Рис. 4. Пример семантической конструкции, не предполагающей вывод нового семантического звена

Невозможность сформировать новое СЗ в приведенном примере обусловлена тем, что изначально среди базовых ролей не задано ни одной возможной роли между концептами «Объект» и «Действие».

5. В случае, если результатом взаимодействия двух семантических звеньев становится конструкция, которая потенциально может образовать новое семантическое звено (ввиду наличия подобных ролей), но логически такое звено не выводимо, то для обозначения таких конструкций предлагается использовать обозначение \emptyset . Пример подобных конструкций:

$$\begin{aligned}
 F6(\forall O_1, O_2) \& F12(\forall O_3, O_2) \Rightarrow \emptyset, \\
 F6(\forall O_1, O_2) \& F2(\forall O_2, P) \Rightarrow \emptyset, \\
 F2(\exists O, P_1) \& F11(\forall P_2, P_1) \Rightarrow \emptyset \text{ и т.п.}
 \end{aligned}$$

Подобное обозначение также предлагается использовать при описании результатов вывода для типов конструкций подобных той, которая рассмотрена на рисунке 4.

4. Порождение концептов в онтологической базе знаний. Одной из примечательных и важных особенностей предлагаемой системы знаний является ее способность к порождению концептов и включению их в уже имеющуюся онтологию.

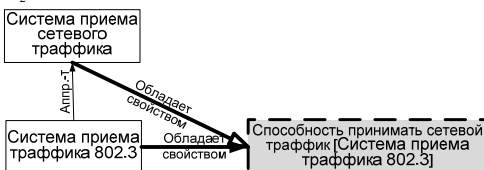
Так, например, если ИС необходимо вычислить значение функции в точке, находящейся вне области определения, то в качестве значения функции в этой точке порождается новый синтаксический объект, отражающий факт вызова в заданной точке. Этот объект в работе [8] предложено определять как строку, полностью совпадающую с текстом вызова. Такой способ доопределения функций назван *задержкой вычислений* функции или просто *задержкой функции*. Значение, получающееся в результате такой задержки, предложено называть *интенционалом функции* (для краткости — просто *интенционалом*). Пример одного из простейших правил порождения интенционалов приведен в таблице 3. Проведенный анализ широко применяемых в настоящее время машин логического вывода (FaCT++, HermiT, Pellet и др.) и дескрипционных логик, реализованных в них [17-28], показал, что они неспособны автоматически формировать новые понятия, именовать и встраивать их в уже имеющуюся онтологию.

Таблица 3. Пример правила, порождающего интенционал

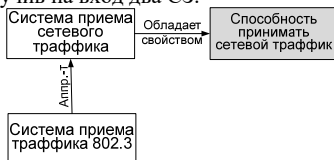
№	К-т №1	К-т №2	К-т №3	Примечание
	Направление ребра		Направление ребра	
2	О	О	Р	
2.1	→		→	
2.1.1	$F12$		$F2$	
2.1.1.1	$O_1 \xrightarrow{(\forall)F12} O_2 \xrightarrow{(\forall)F2} P$			$F12(\forall O_1, O_2) \& F2(\forall O_2, P) \Rightarrow$ а) $F2(\forall O_1, P)$; в) $F11(\forall P[O_1], P)$; б) $\exists P[O_1]$; г) $F2(\forall O_1, P[O_1])$; д) $F2(\exists O_2, P[O_1])$.
<p>Утверждение_1: Если $F12(\forall O_1, O_2) \& F2(\forall O_2, P)$ то $F2(\forall O_1, P)$.</p> <p>Доказательство_1:</p> <p>– пусть для $\forall o \in O_2$ родом является U (универсум – н.в.г. решетки O), тогда признак $P(o)$ можно считать видовым отличием, так как других данных, на основании которых можно было бы выделить $\forall o \in O_2$ из U нет;</p> <p>– исходя из того, что $O_1 \xrightarrow{(\forall)F12} O_2$, следует: $\forall o(o \in O_1 \supset o \in O_2)$, т.е. понятие $oO_1(o)$ включается в понятие $oO_2(o)$,</p> <p>– следовательно, признак $P(o)$ является характерным для $\forall o \in O_1$.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Утверждение_2: Если $F12(\forall O_1, O_2) \& F2(\forall O_2, P)$ то</p> <p>а) существует $P[O_1]$, где содержание понятия $pP[O_1](p)$ больше чем $pP(p)$, при этом $WpP(p) = WpP[O_2](p)$ и $WpP[O_1](p) \subseteq WpP[O_2](p)$, а следовательно, имеет место отношение $F11(\forall P[O_1], P)$;</p> <p>б) $F2(\forall O_1, P[O_1])$.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>$P[O_1]$ – является примером интенционального расширения, применяемого для пополнения базы знаний путем расширения области определения.</p> <p>Утверждение_3: Если $F12(\forall O_1, O_2) \& F2(\forall O_1, P[O_1])$ то $F2(\exists O_2, P[O_1])$.</p> <p>Доказательство:</p>				

– пусть $\forall o \in O_1$ признак $P[O_1](o)$ является видовым отличием, так как других данных, на основании которых можно было бы выделить $\forall o \in O_1$ из O_2 нет;

– исходя из того, что $O_1 \xrightarrow{(\forall)F^{12}} O_2$, следует: $\forall o(o \in O_1 \supset o \in O_2)$, т.е. понятие $oO_1(o)$ включается в понятие $oO_2(o)$, а само понятие O_1 содержит данные о том, что элементы, входящие в O_1 , а следовательно и в O_2 (т.к. $\forall o(o \in O_1 \supset o \in O_2)$) обладают свойством, входящим в $P[O_1]$, то можно утверждать, что признак $P[O_1](o)$ является характерным хотя бы для некоторых $o \in O_2$.



Таким образом, получив на вход два СЗ:



– любая «Система приема сетевого трафика» обладает свойством «Способность принимать сетевой трафик»;

– всякая «Система приема трафика 802.3» является подклассом «Систем приема сетевого трафика»;

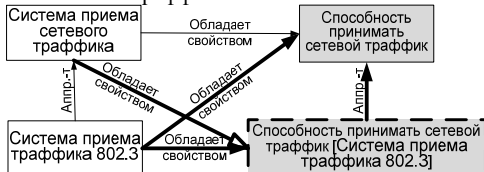
– система знаний создаст один концепт, «Способность принимать сетевой трафик [Система приема трафика 802.3]», и сформирует четыре СЗ:

– всякая «Система приема трафика 802.3» обладает свойством «Способность принимать сетевой трафик [Система приема трафика 802.3]»;

– свойство «Способность принимать сетевой трафик [Система приема трафика 802.3]» является подклассом (аппроксимирует) свойства свойством «Способность принимать сетевой трафик»;

– некоторые «Системы приема сетевого трафика» обладают свойством «Способность принимать сетевой трафик [Система приема трафика 802.3]», т.е. обладают способностями, присущими «Системам приема трафика 802.3»;

– все «Системы приема трафика 802.3» обладают свойством «Способность принимать сетевой трафик»:



Положительный эффект от вычислений над расширенной областью особенно заметен при моделировании многоэтапных процессов (например, многоэтапных атакующих воздействий и способов защиты от них). При этом следует отметить, что в ходе осуществления задержки вычислений осуществляется порождение нового типа данных, представленного в виде интенционала.

Изначально концепты произвольной предметной области представляются в онтологии в виде простых объектных термов, имена же концептов, полученных в ходе интенционального расширения, относятся к классу аппликативных объектных термов. Существенным свойством имен аппликативных объектных термов является то, что в них фиксируется их собственная «история» появления. Указанные термы далее можно использовать при построении спецификаций моделируемых процессов.

5. Пример, демонстрирующий некоторые возможности разработанной машины логического вывода, реализованной в ИС. Приведенные выше положения, связанные с порождением интенционалов, полезно пояснить на конкретном примере.

Пусть в памяти ИС имеется информация о том, что:

- 1) имеется «APM» (как класс);
- 2) все экземпляры класса «APM» обладают двумя типами свойств: «Подверженность DDoS» и «Время отклика на сетевой запрос»;
- 3) у класса «APM» есть подкласс — «APM_1» (в рамках типа «APM» выделяется подтип «APM_1»);
- 4) имеется класс «Кибер_Противник» («КП»);
- 5) все экземпляры класса «КП» обладают свойством «Способность осуществлять DDoS атаку», которое порождает способность осуществлять определенный тип действий: «Осуществление DDoS атаки»;
- 6) тип «КП» разделяется на два подтипа: «КП_1» и «КП_2».

Данные, непосредственно введенные в базу знаний (БЗ) экспертом, приведены в таблице 4 в пунктах 1-9, и в таблице 5 в пунктах 1-7. Указанные данные возможно обработать, применяя правила, примеры которых приведены в таблицах 2 и 3, и породить новые знания, представленные в таблице 4 в пунктах 10-15 и в таблице 5 в пунктах 8-31. Следует отметить, что при порождении новых знаний осуществляется как построение новых ролей, так и порождение новых концептов, не вводимых экспертом.

Таблица 4. Перечень концептов, введенных экспертом (экспертами) и сформированных ИС

№	Тип концепта	Имя концепта
1	Объект	APM
2	Объект	APM_1
3	Объект	Кибер_Противник (КП)
4	Объект	КП_1
5	Объект	КП_2
6	Свойство	Подверженность DDoS
7	Свойство	Время отклика на сетевой запрос
8	Свойство	Способность осуществлять DDoS атаку
9	Действие	Осуществление DDoS атаки
10	Свойство	Время отклика на сетевой запрос[APM_1]
11	Свойство	Подверженность DDoS[APM_1]
12	Свойство	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]
13	Свойство	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]
14	Действие	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]
15	Действие	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]
16	Объект	APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]
17	Свойство	Подверженность DDoS [APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]
18	Свойство	Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]
19	Объект	APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]
20	Свойство	Подверженность DDoS [APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]
21	Свойство	Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]

В таблице 5 в поле «О» указывается объем понятия: «А» — все (каждый, любой), «S» — некоторые (есть такие, которые...). В поле «Т» указывается тип концепта из состава рассматриваемого семантического звена: «О» — объект, «Р» — свойство, «А» — действие.

Таблица 5. Семантические звенья, введенные экспертом (экспертами) и выведенные ИС

№	О	Т	Концепт №1	Тип ребра	Т	Концепт №2
1	А	О	АРМ	Обладает свойством	Р	Подверженность DDoS
2	А	О	АРМ	Обладает свойством	Р	Время отклика на сетевой запрос
3	А	О	АРМ_1	Аппр.-т	О	АРМ
4	А	О	Кибер Противник (КП)	Обладает свойством	Р	Способность осуществлять DDoS атаку
5	А	Р	Способность осуществлять DDoS атаку	Порождает способность к	А	Осуществление DDoS атаки
6	А	О	КП_1	Аппр.-т	О	Кибер Противник (КП)
7	А	О	КП_2	Аппр.-т	О	Кибер Противник (КП)
8	А	О	АРМ_1	Обладает свойством	Р	Время отклика на сетевой запрос[АРМ_1]
9	А	О	АРМ_1	Обладает свойством	Р	Подверженность DDoS[АРМ_1]
10	S	О	АРМ	Обладает свойством	Р	Время отклика на сетевой запрос[АРМ_1]
11	S	О	АРМ	Обладает свойством	Р	Подверженность DDoS[АРМ_1]
12	А	Р	Время отклика на сетевой запрос[АРМ_1]	Аппр.-т	Р	Время отклика на сетевой запрос
13	А	О	АРМ_1	Обладает свойством	Р	Время отклика на сетевой запрос
14	А	Р	Подверженность DDoS[АРМ_1]	Аппр.-т	Р	Подверженность DDoS
15	А	О	АРМ_1	Обладает свойством	Р	Подверженность DDoS
16	А	О	КП_1	Обладает свойством	Р	Способность осуществлять DDoS атаку
17	А	О	КП_2	Обладает свойством	Р	Способность осуществлять DDoS атаку
18	А	О	КП_1	Обладает свойством	Р	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]

Продолжение таблицы 5

№	O	T	Концепт №1	Тип ребра	T	Концепт №2
19	A	O	КП_1	Обладает свойством	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]
20	A	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]	Аппр.-т	P	Способность осуществлять DDoS атаку
21	A	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]	Аппр.-т	P	Способность осуществлять DDoS атаку
22	S	O	Кибер_Противник (КП)	Обладает свойством	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]
23	S	O	Кибер_Противник (КП)	Обладает свойством	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]
24	A	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]	Порождает способность к	A	Осуществление DDoS атаки
25	A	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]	Порождает способность к	A	Осуществление DDoS атаки
26	A	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]	Порождает способность к	A	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]
27	A	P	Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]	Порождает способность к	A	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]
28	A	A	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]	Аппр.-т	A	Осуществление DDoS атаки
29	A	A	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]	Аппр.-т	A	Осуществление DDoS атаки
30	S	P	Способность осуществлять DDoS атаку	Порождает способность к	A	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]
31	S	P	Способность осуществлять DDoS атаку	Порождает способность к	A	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]

Продолжение таблицы 5

32	A	A	Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]	Пригодно для воздействия на	P	Подверженность DDoS[APM_1]
33	A	O	APM_1	Продуцирует	O	APM_1[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]
34	A	O	APM_1[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]	Аппр.-т	O	APM
35	A	O	APM_1[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]	Обладает свойством	P	Подверженность DDoS [APM_1 [Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]
36	S	O	APM	Обладает свойством	P	Подверженность DDoS [APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]
37	A	P	Подверженность DDoS [APM_1 [Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]	Аппр.-т		Подверженность DDoS
38	A	O	APM_1[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]	Обладает свойством	P	Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]

Продолжение таблицы 5

39	S	O	APM	Обладает свойством	P	Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]
40	A	P	Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]]	Аппр.-т	P	Время отклика на сетевой запрос
41	A	A	<i>Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]</i>	<i>Пригодно для воздействия на</i>	P	<i>Подверженность DDoS[APM_1]</i>
42	A	O	APM_1	Продуцирует	O	APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]
43	A	O	APM_1[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]	Аппр.-т	O	APM
44	A	O	APM_1[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]	Обладает свойством	P	Подверженность DDoS [APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]
45	S	O	APM	Обладает свойством	P	Подверженность DDoS [APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]

Продолжение таблицы 5

46	A	P	Подверженность DDoS [APM_1 [Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку [КП_2]]]]	Аппр.-т	P	Подверженность DDoS
47	A	O	APM_1[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]	Обладает свойством	P	Время отклика на сетевой запрос [APM_1 [Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]
48	S	O	APM	Обладает свойством	P	Время отклика на сетевой запрос [APM_1 [Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]]
49	A	P	Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [[Подверженность DDoS [APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку [КП_2]]]]	Аппр.-т	P	Время отклика на сетевой запрос

Следует пояснить порядок формирования имен концептов, порожденных в ходе осуществления интенционального расширения онтологии и представленных в таблицах 4 и 5. Так, например, «*Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]*» означает возможность осуществлять конкретный тип действий («*Осуществление DDoS атаки*») конкретным типом объектов («*КП_1*») ввиду того, что они (объекты) обладают определенным типом свойств («*Способность осуществлять DDoS атаку*»).

Далее, если эксперт укажет на то, что «*Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]*» пригодно для воздействия на свойство «*Подверженность DDoS[APM_1]*» (см. п. 32 таблицы 5), а также, что и «*Осуществление DDoS атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]*» пригодно для воздействия на свойство «*Подверженность DDoS[APM_1]*» (см. п. 41 таблицы 5), то система знаний способна породить ряд концептов (см. п.п. 16-21 таблицы 4) и семантических звеньев (см. п.п. 33-40 и 42-49 таблицы 5). При этом имя концепта «*APM_1[Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_2]]]*» хранит историю его формирования и означает «*APM_1*», но после того, как на него осуществит воздействие «*КП_2*» путем «*Осуществление DDoS Атаки*» через свойство «*Подверженность DDoS*».

Порожденный объект обладает также двумя свойствами («*Подверженность DDoS[APM_1][Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]*» и «*Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]*»), как и его «родитель», но эти свойства уже не вносятся экспертом, а порождаются ИС самостоятельно, что позволяет сократить время описания рассматриваемой предметной области и количество возможных ошибок, которые может совершить эксперт. К основным из которых можно отнести упущение некоторых фактов.

Приведенный пример демонстрирует принципиальную способность ИС пополнять собственную БЗ новыми концептами и/или семантическими звеньями, не заносимыми в БЗ непосредственно создателем (экспертом), либо самой интеллектуальной системой по результатам наблюдения за явлениями во «Внешнем Мире», что несомненно способствует повышению уровня интеллектуального содержания БЗ и снижению времени ее пополнения.

Кроме того, порождение концептов типа: «*Время отклика на сетевой запрос[APM_1 [Подверженность DDoS[APM_1], Осуществление DDoS Атаки [Способность осуществлять DDoS атаку[КП_1]]]*» позволяет говорить о возможности построения в ходе предвычислений своего рода протофреймов, которые потенциально могут быть в дальнейшем заполнены конкретными значениями. Означивание может быть осуществлено как экспертами рассматриваемой предметной области, так и в ходе измерения параметров явлений, наблюдаемых через систему сенсоров самой ИС.

6. Оценивание показателей пополнения онтологии системы знаний. При оценивании результатов работы ИС, заключающейся в осуществлении ею правдоподобных умозаключений, предлагается оценить прирост информационного содержания БЗ.

В рамках рассматриваемого выше примера экспертом было введено 9 концептов из 21 и 9 ролей из 49, остальные были порождены системой знаний (таблица 6). Из значений, приведенных в таблице 6, можно сделать вывод о том, что в результате работы системы знаний было изменено (пополнено) информационное содержание ее БЗ. Для измерения информационного содержания БЗ можно использовать тезаурусную меру информации.

Таблица 6. Количественные параметры рассматриваемого примера

Предметная область	Кол-во Концептов	Кол-во СЗ
Всего введено экспертами	9	9
Построено системой знаний	12	40
Всего в БЗ	21	49

Под тезаурусом будем понимать словарь, в котором слова, относящиеся к какой-либо области знания, расположены по тематическому принципу и показаны семантические отношения между лексическими единицами [9]. Исходя из приведенного определения, элементом тезауруса предлагается считать СЗ. В пользу данного предложения можно отнести положение, обоснованное в работе [10]: «Чем больше элементов в системе, тем большую долю содержащейся в ней информации составляет информация, содержащаяся во взаимосвязях ее элементов».

Учитывая, что согласно определению тезаурусной меры информации [11] количеством семантической информации, содержащейся в тексте T относительно тезауруса Q , называется степень изменения тезауруса Q под воздействием текста T ($I(T, Q) = (Q(T) - Q) / Q$), то изменение информационного содержания БЗ ИС по результатам осуществления ею интеллектуальной обработки поступающих данных можно определить как:

$$I_T(Z_M, X_{SM}) = \sum_{i=1}^k \frac{N(Z_M(Z_M, X_{SM_i})) - N(Z_M)}{N(Z_M)},$$

где X_{SM} — Семантическое Звено (элемент тезауруса);

$N(Z_M)$ — количество СЗ в БЗ.

Приведенное выражение позволяет оценить количественные результаты работы машины логического вывода, реализованной в ИС. Можно определить:

I_{T_1} — тезаурусную меру информации, если под тезаурусом понимать совокупность концептов и ролей: (т.е. структурных элементов онтологии): $I_{T_1} = ((21+49) - (9+9)) / (9+9) \approx 2,9$;

I_{T_2} — тезаурусную меру информации, если под тезаурусом понимать совокупность СЗ: $I_{T_2} = (49 - 9) / 9 \approx 4,4$.

На первый взгляд может показаться, что тезаурусная мера информации I_{T_1} более привлекательна, так как она непосредственно учитывает все структурные элементы из которых формируется онтология: все концепты и роли. Однако предлагается применять на практике меру I_{T_2} . Аргументы в пользу данного выбора лучше продемонстрировать на конкретном примере (рисунок 5 и таблица 3).

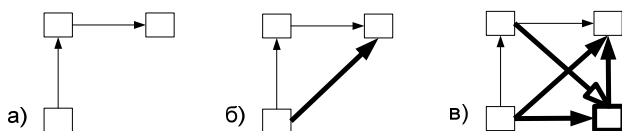


Рис. 5. Иллюстрация к примеру расчета тезаурусной меры информации

Пусть на вход ИС поступила простейшая семантическая конструкция, представленная на рисунке 5(а). Тогда в том случае, если система знаний не осуществляет построение интенционалов (как делает большинство машин логического вывода, применяемых для пополнения онтологий [12-16]), то в результате осуществления логических выводов может быть получена конструкция, приведенная на рисунке 5(б). Если же система знаний в состоянии порождать не только новые роли, но и концепты, то в результате ее работы может быть построен фрагмент онтологии, изображенный на рисунке 5(в).

Если рассчитать изменение информационного содержания БЗ (I_{T_1} и I_{T_2}) для рассмотренных построений (рисунок 5(а) и рисунок 5(б)), то можно получить следующие значения:

— для рис. 5(б) $I_{T_1} = 1/5$, $I_{T_2} = 1/2$;

— для рис. 5(в) $I_{T_1} = 1$, $I_{T_2} = 2$.

Прежде чем оценивать полученные значения, полезно отметить, что I_T указывает на то, насколько увеличилось информационное содержание БЗ относительно уже имеющейся информации: если в БЗ

имелось X информации, то после работы машины логического вывода ее количество становится равным $X + X \times I_T$.

Исходя из приведенного примера и указанного замечания можно отметить, что при оценивании количественных результатов работы машины логического вывода следует вычислять I_{T2} , так как данная оценка в большей степени соответствует эмпирическим знаниям.

При необходимости можно проанализировать графики, отображающие темпы изменения информационного содержания БЗ ИС в ходе занесения в онтологию новых знаний и их первичной интеллектуальной обработки, но ввиду ограничений на объем статьи данная динамика не приводится.

7. Заключение. Предложенный механизм обработки поступающих на вход интеллектуальной системы фактов направлен на их автоматическую интеграцию в имеющуюся у нее онтологию, в ходе которой порождаются новые знания. Порождение новых знаний осуществляется в ходе построения умозаключений на основе простого категорического силлогизма с учетом семантики используемых ролей, а также в ходе пополнения онтологии порожденными интенционалами. Оба указанных метода реализованы в системы знаний, примером которой является гиромат [1], и выполняются во взаимосвязи друг с другом, что позволяет ей в ходе осуществления предвычислений не только дополнять онтологию достроенными ролями, но и встраивать в упорядоченное множество концептов новые концепты, порожденные ей. Автоматически осуществляемое гироматом пополнение онтологии, значительно повышает ее информационное содержание и очевидно сокращает время ее пополнения.

Литература

1. *Бирюков Д.Н.* Когнитивно-функциональная спецификация памяти для моделирования целенаправленного поведения киберсистем // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 3(40). С. 55–76.
2. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г.* Подход к построению системы предотвращения киберугроз // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. С-Пб.: Издательство Политехнического университета. 2013. №2. С. 13–19.
3. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Ростовцев Ю.Г.* Облик антиципирующих систем предотвращения рисков реализации киберугроз // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 2(39). С. 5–25.
4. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Сабиров Т.Р.* Многоуровневое моделирование сценариев упреждающего поведения // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. С-Пб.: Издательство Политехнического университета. 2014. №4. С. 41–50.
5. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г.* Денотационная семантика контекстов знаний при онтологическом моделировании предметных областей конфликта // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 5(42). С. 155–179.

6. *Бочаров В.А., Маркин В.И.* Основы логики // М.: МГУ. 2008.
7. *Бирюков Д.Н., Ломако А.Г.* Формализация семантики для представления знаний о поведении конфликтующих сторон // Материалы 22-й научно-практической конференции «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации». С-Пб.: Издательство Политехнического университета. 2013. С. 8–11.
8. *Кистлеров В.Л.* Принципы построения языка алгебраических вычислений FLAC // М.: Препринт. 1987. 41 с.
9. *Шрейдер Ю.А.* Тезаурусы в информатике и теоретической семантике // «Научно-техническая информация. Сер. 2». 1971. № 3. С. 7–12
10. *Луценко Е.В., Коржаков В.Е.* Количественные меры уровня системности и степени детерминированности в рамках СТИ // Вестник Адыгейского государственного университета. 2006. № 4. С. 169–177.
11. *Барановская Т.П., Лойко В.И., Семенов М.И., Трубилин А.И.* Информационные системы и технологии в экономике. М.: Финансы и статистика. 2005. 416 с.
12. What is RacerPro?: Racer Systems GmbH & Co.KG. 2009 // URL: <http://www.racer-systems.com/products/racerpro/> (дата обращения 14.12.2015).
13. *Shearer R., Motik B., Horrocks I.* Hermit: A Highly-Efficient OWL Reasoner // Proc. of the 5th Int. Workshop on OWL: Experiences and Directions (OWLED 2008 EU), Karlsruhe, Germany. 2008. 10 p.
14. *Tsarkov D., Horrocks I.* FaCT++ description logic reasoner: System description // In Proc. of the Int. Joint Conf. on Automated Reasoning (IJCAR 2006). 2006. 5 p.
15. *Sirin E., Parsia B., Gran B., Kalyanpur A., Katz Y.* Pellet: A Practical OWL-DL Reasoner // Journal Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web archive. 2007. vol. 5. no 2, pp. 51–53.
16. *Haarslev V., Moller R.* RACER: A core inference engine for the Semantic Web // Proc. of the 2nd Intern. workshop on evaluation of ontology-based tools (EON-2003), Florida. USA. 2003. pp. 27–36.
17. *Calvanese D., Giacomo G., Lenzerini M., Rosati R.* View-based query answering in description logics: Semantics and complexity // J. of Computer and System Sciences. 2012. vol. 78(1). pp. 26–46.
18. *Eiter T., Ortiz M., Simkus M.* Conjunctive query answering in the description logic SH using knots. // J. of Computer and System Sciences 2012. vol. 78(1). pp. 47–85.
19. *Eiter T., Ortiz M., Simkus M., Tran T.K., Xiao G.* Query rewriting for Horn-SHIQ plus rules // Proc. of the 26th Nat. Conf. on Artificial Intelligence (AAAI 2010). AAAI Press. 2012. pp. 726–733.
20. *Kikot S., Zolin E.* Modal definability of first-order formulas with free variables and query answering // Journal of Applied Logic. 2013. vol. 11. no. 2. pp. 190–216.
21. *Kikot S., Tsarkov D., Zakharyashev M., Zolin E.* Query Answering via Modal Definability with FaCT++: First Blood // Informal Proceedings of DL 2013: 26th International Workshop on Description Logics. CEUR Workshop Proceedings, 2013. vol. 1014. pp. 328–340.
22. *Kikot S., Konchakov R., Podolskii V., Zakharyashev M.* Query Rewriting over Shallow Ontologies // Informal Proceedings of DL 2013: 26th International Workshop on Description Logics. CEUR Workshop Proceedings. 2013. vol. 1014. pp. 316–327
23. *Maier F., Ma Y., Hitzler P.* Paraconsistent OWL and related logics // Semantic Web. 2013. vol. 4(4). pp. 395–427.
24. *Zhang X., Wang K., Wang Z., Ma Y., Qi G.* A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite // International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management. 2015. LNAI 9403. pp. 1–13.
25. *Goncalves R., Matentzoglou N., Parsia B., Sattler U.* The empirical robustness of description logic classification // Description Logics. 2013. vol. 1014. pp. 197–208.

26. *Goncalves R. et al.* OWL reasoner evaluation (ORE) workshop 2013 results: Short report // 2nd International Workshop on OWL Reasoner Evaluation (ORE-2013). 2013. vol. 1015. pp.1–18.
27. *Glimm B., Horrocks I., Motik B., Stoilos G., Wang Z.* Hermit: An owl 2 reasoner // *Autom. Reason.* 2014. vol. 53(3). pp. 245–269.
28. *Amir S., Ait-Kaci H.* Cedar: a fast taxonomic reasoned based on lattice operations // *International Semantic Web Conference (Posters & Demos)*. 2013. pp. 9–12.

References

1. Biryukov D.N. [The Cognitive and Functional Specification of Memory for Modeling of Purposeful Behavior of Cybersystems]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 3(40). pp. 55–76. (In Russ.).
2. Biryukov D.N., Lomako A.G. [Approach to creation of system of cyber-threats preventing]. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Kompyuternie sistemy - Problems of information security. Computer systems*. SPB: St. Petersburg Polytechnical University. 2013. vol. 2. pp. 13–19. (In Russ.).
3. Biryukov D.N., Lomako A.G., Rostovtsev Y.G. [The Appearance Cyber Threats Risk Prevention Systems]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 2(39). pp. 5–25. (In Russ.).
4. Biryukov D.N., Lomako A.G., Sabirov T.R. [Multilevel modeling of scenarios of anticipatory behavior]. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Kompyuternie sistemy – Problems of information security. Computer systems*. SPB: St. Petersburg Polytechnical University 2014. vol. 4. pp. 41–50. (In Russ.).
5. Biryukov D.N., Lomako A.G. [Denotational semantics of knowledge contexts in ontologic modeling of subject domains of the conflict]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 5(42). pp. 155–179. (In Russ.).
6. Bocharov V.A., Markin V.I. *Osnovy logiki* [Logic bases]. M.: MSU. 2008. (In Russ.).
7. Biryukov D.N., Lomako A.G. [Formalization of semantics for representation of knowledge of behavior of conflicting parties]. *Materialy 22 nauchno-prakticheskoy konferentsiyi "Metody I tehnicheckiye sredstva obespecheniya bezopasnosti informacii"* [Materials of the 22nd scientific and practical conference "Methods and Technical Means of Safety of Information"]. SPB: St. Petersburg Polytechnical University. 2013. pp. 8–11. (In Russ.).
8. Kistlerov V.L. [Design principles for the language of algebraic computations FLAC]. M.: Preprint. 1987. 41 p. (In Russ.).
9. Schreider Y.A. [Thesauri in Informatics and in theoretical semantics]. *Nauchno-tehnicheskaya informatsiya. Ser. 2* – *Scientific and technical information. Ser. 2*. 1971. vol. 3. pp. 7–12. (In Russ.).
10. Lutsenko E.V., Korzhakov V.E. [Quantitative measures of the level of consistency and a degree of determinancy within the framework of STI]. *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta – the Bulletin of Adyge state University*. 2006. vol. 4. pp. 169–177. (In Russ.).
11. Baranovskaya T.P., Loyko V.I., Semenov M.I., Trubilin A.I. [Information systems and technologies in Economics]. M.: *Finansy i statistika – Finance and statistics*. 2005. 416 p. (In Russ.).
12. What is RacerPro?: Racer Systems GmbH & Co.KG. 2009. Available at: <http://www.racer-systems.com/products/racerpro/> (accessed: 14.12.2015).
13. Shearer R., Motik B., Horrocks I. Hermit: A Highly-Efficient OWL Reasoner. Proc. of the 5th Int. Workshop on OWL: Experiences and Directions (OWLED 2008 EU). Karlsruhe. Germany. 2008. 10 p.
14. Tsarkov D., Horrocks I. FaCT++ description logic reasoner: System description. In Proc. of the Int. Joint Conf. on Automated Reasoning (IJCAR 2006). 2006. 5 p.

15. Sirin E., Parsia B., Gran B., Kalyanpur A., Katz Y. Pellet: A Practical OWL-DL Reasoner. *Journal Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web archive*, 2007. vol. 5. no. 2. pp. 51–53.
16. Haarslev V., Moller R. RACER: A core inference engine for the Semantic Web. Proc. of the 2nd Intern. workshop on evaluation of ontology-based tools (EON-2003). Florida. USA. 2003. pp. 27–36.
17. Calvanese D., Giacomo G., Lenzerini M., Rosati R. View-based query answering in description logics: Semantics and complexity. *J. of Computer and System Sciences*. 2012. vol. 78(1). pp. 26–46.
18. Eiter T., Ortiz M., Simkus M. Conjunctive query answering in the description logic SH using knots. *J. of Computer and System Sciences*. 2012. vol. 78(1). pp. 47–85.
19. Eiter T., Ortiz M., Simkus, M., Tran T.K., Xiao G. Query rewriting for Horn-SHIQ plus rules. Proc. of the 26th Nat. Conf. on Artificial Intelligence (AAAI 2010). AAAI Press. 2012. pp. 726–733.
20. Kikot S., Zolin E. Modal definability of first-order formulas with free variables and query answering. *Journal of Applied Logic*. 2013. vol. 11. no. 2. pp. 190–216.
21. Kikot S., Tsarkov D., Zakharyashev M., Zolin E. Query Answering via Modal Definability with FaCT++: First Blood. Informal Proceedings of DL 2013: 26th International Workshop on Description Logics. CEUR Workshop Proceedings. 2013. vol. 1014. pp. 328–340.
22. Kikot S., Kontchakov R., Podolskii V., Zakharyashev M. Query Rewriting over Shallow Ontologies. *Informal Proceedings of DL 2013: 26th International Workshop on Description Logics. CEUR Workshop Proceedings*. 2013. vol. 1014. pp. 316–327.
23. Maier F., Ma Y., Hitzler P. Paraconsistent OWL and related logics. *Semantic Web*. 2013. vol. 4(4). pp. 395–427.
24. Zhang X., Wang K., Wang Z., Ma Y., Qi G. A distance-based paraconsistent semantics for DL-Lite. International Conference on Knowledge Science, Engineering and Management. 2015. LNAI 9403. pp. 1–13.
25. Goncalves R., Matentzoglou N., Parsia B., Sattler U. The empirical robustness of description logic classification. *Description Logics*. 2013. vol. 1014. pp. 197–208.
26. Goncalves R., Bail S., Jiménez-Ruiz E., Matentzoglou N., Parsia B., Glimm B., Kazakov Y. OWL reasoner evaluation (ORE) workshop 2013 results: Short report. 2nd International Workshop on OWL Reasoner Evaluation (ORE-2013). 2013. vol. 1015. pp. 1–18.
27. Glimm B., Horrocks I., Motik B., Stoilos G., Wang Z. Hermit: An owl 2 reasoner. *Autom. Reason.* 2014. vol. 53(3). pp. 245–269.
28. Amir S., Ait-Kaci H. Cedar: a fast taxonomic reasoner based on lattice operations. International Semantic Web Conference (Posters & Demos). 2013. pp. 9–12.

Бирюков Денис Николаевич — д-р техн. наук, профессор кафедры систем сбора и обработки информации, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: системный анализ, защита информации, интеллектуальная поддержка принятия решений. Число научных публикаций — 70. Biryukov.D.N@yandex.ru; ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812) 237-19-60.

Biryukov Denis Nikolaevich — Ph.D., Dr. Sci., professor of systems for collecting and processing information department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: system analyses, IT-Security, intelligent decision support. The number of publications — 70. Biryukov.D.N@yandex.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812) 237-19-60.

Ломako Александр Григорьевич — д-р техн. наук, профессор кафедры систем сбора и обработки информации, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: информационная безопасность, теоретическое и системное программирование, синтез и верификация корректности моделей программ. Число научных публикаций — 290. lomako_ag@mail.ru; ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812) 237-19-60.

Lomako Aleksandr Grigor'evich — Ph.D., Dr. Sci., professor of system for collecting and processing information department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: information security, theoretical and system programming, synthesis and verification of program models. The number of publications — 290. lomako_ag@mail.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812) 237-19-60.

Жолус Роман Борисович — к-т биол. наук, соискатель кафедры систем сбора и обработки информации, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф. Можайского). Область научных интересов: информационная безопасность, моделирование социальных систем. Число научных публикаций — 10. p.glybovsky@yandex.ru; ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198; р.т.: +7(812) 237-19-60.

Zholus Roman Borisovich — Ph.D., applicant of system for collecting and processing information department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: information security, modeling social systems. The number of publications — 10. p.glybovsky@yandex.ru; 13, Zhdanovskaya street, St.-Petersburg, 197198, Russia; office phone: +7(812) 237-19-60.

РЕФЕРАТ

Бирюков Д.Н., Ломако А.Г., Жолус Р.Б. **Пополнение онтологических систем знаний на основе моделирования умозаключений с учетом семантики ролей.**

Известно, что способность человека увязывать предъявляемые ему факты с имеющимися у него знаниями и ценностными приоритетами значительно обогащает и актуализирует их. В этой связи предлагается в интеллектуальной системе, призванной синтезировать сценарии целенаправленного поведения, реализовать механизм автоматической обработки поступающих на ее вход данных с целью их интеграции в имеющуюся у нее онтологию. Предложенный механизм интеграции поступающих в память интеллектуальной системы данных предполагает не только автоматическое построение ролей онтологии, но и автоматическое формирование концептов, что значительно повышает информационное содержание онтологии и сокращает время ее пополнения.

SUMMARY

Biryukov D.N., Lomako A.G., Zholus R.B. **Ontological Knowledge System Completion Based on Modeling Inferences Taking into Account Role Semantics.**

It is known that the human ability to link obtained facts with existing knowledge and value priorities enriches and updates the latter. In this connection, it is suggested that the intelligent system designed to synthesize purposeful behavior scenarios should implement the mechanism of automatic processing of input data with the aim of their integration into existing ontology. The proposed mechanism for integrating input data into the intelligent system's memory involves not only automatic construction of ontology roles but also automatic formation of concepts, which greatly increases ontology information content and decreases time of its completion.