

## ИНВАРИАНТНЫЕ ЗАДАЧИ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Александр Стрижак

**Аннотация:** В статье представлен подход к достижению разрешимости проблемных ситуаций на основе поддержки взаимодействия онтологических систем, обеспечивающих процессы достижения решений прикладных задач. Описывается категоризация задач, выделяется группа метазадач, как инвариантов использования онтологий в процессе достижения разрешимости проблемных ситуаций. Определяется таксономия как системный базис формирования последовательности утверждений, описывающих состояния процесса решения сложных прикладных задач.

**Ключевые слова:** задача, онтология, категория, коммутативная диаграмма, таксономия

**ACM Classification Keywords:** I.2 ARTIFICIAL INTELLIGENCE - I.2.4 Knowledge Representation Formalisms and Methods, H. Information Systems – H.2 DATABASE MANAGEMENT – H.2.4 Systems

---

### Введение

Решение любой проблемы требует проведения ее контекстного анализа, оценки состояния, формирования идеи разрешимости и на конечной стадии выделения и формулирования составляющих прикладных задач в терминах прикладных областей ее постановки. Использование онтологических систем для представления описания проблемных ситуаций в терминах предметной области позволяет выделять в проблемной ситуации набор прикладных задач, решение которых обеспечивает разрешимость проблемной ситуации. Онтологическое сопровождение позволяет реализовывать достаточно полное описание множества состояний каждого этапа решения в терминах предметной области, что обеспечивает алгоритмическую выводимость последующих состояний процесса решения прикладной задачи.

Целью статьи является исследование процессов взаимодействия онтологических систем при использовании их системных компонентов, таких как множество концептов, типы отношений и свойств, таксономии и интерпретирующие функции для описания состояния этапов решения прикладных задач.

---

### Взаимодействие систем

Разрешение проблемной ситуации  $P$ , описываемой терминами предметных областей, обычно сводится к выделению прикладных задач, решение которых можно изложить в виде последовательности утверждений в соответствующих терминах. Процессы решения прикладных задач можно представить в виде состояний  $\tilde{S}$  взаимодействия информационных систем [Глушков, 1982]. Это позволяет использовать онтологические модели для описания предметных областей, в терминах которых решаются прикладные задачи [Палагин, 2012].

Рассмотрим сам процесс решения, как кортеж последовательных описаний состояний  $I$  задачи  $TP$  [Нильсон, 1973, Довгялло, 1981]. Отметим следующий факт: каждое описание состояния задачи может быть представлено в виде высказываний и утверждений, образованных из концептов предметной области, представленных соответствующей онтологией. Если состояние решения  $I$  описано только одним утверждением и такое утверждение образовано не более чем двумя концептами, то мы будем его

называть элементарным или тривиальным. Если утверждений два и более, и/или каждое образовано более чем двумя концептами, то такое утверждение мы будем называть неэлементарными (нетривиальными) или просто описанием состояния задачи. Следует обратить внимание на то, что сами элементарные утверждения могут быть образованы сложными концептами, которые определяют тематические классы и таксономические категории  $\check{T}$  онтологии предметной области задачи [Шаталкин, 2012]. Также является очевидным, что не все нетривиальные задачи являются сложными.

Взаимодействие между категориями множество проблемных ситуаций –  $P$ , пространство состояний взаимодействия систем –  $\check{S}$ , множество таксономий онтологии прикладной задачи –  $\check{T}$ , пространство состояний решения прикладной задачи –  $I$  можно представить в виде коммуникативных диаграмм: рис.1 (а, в).

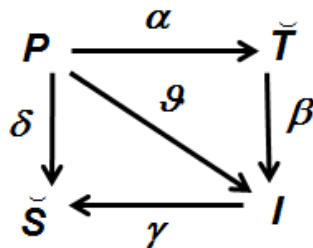


рис. 1-а

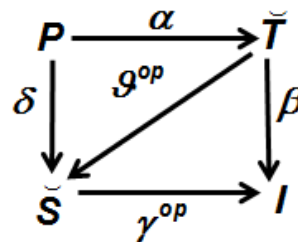


рис. 1-в

Отметим также, что указанные категории могут быть представлены в виде хотя бы одного из приведенных ниже множеств:

- множества высказываний;
- множества бинарных отношений (Декартовых произведений);
- множества классов;
- множества таксономий;
- множества векторных пространств.

Такое представление носит сильный конструктивный характер. Так из множества высказываний о проблемной ситуации может быть выделено все множество элементарных утверждений, необходимых для формулировки начальных условий прикладной задачи. Множества выделенных отношений между концептами позволяют определить множественные бинарные отношения упорядоченности [Малишевский, 1998] и на их основе начать формирование множества таксономий из концептов онтологий прикладной задачи. Множества таксономий, формируемых на основе классов, полученных при кластеризации, представляют собой определенные виды топологических множеств [Энкельгинг, 1986]. Одним из топологических множеств, отображающих таксономию онтологии, может быть векторное пространство, представленное в виде множества графов без циклов. Одним из видов графов без циклов являются пирамидальные сети [Гладун, 1994].

Все указанные категории представляют собой множества с отношением линейной упорядоченности между их элементами, что позволяет определить для них морфизмы [Букур, 1972]. На рис.1-а представлена коммутативная диаграмма отображающая морфизмы (переходы) между состояниями множества проблем  $P$  и состояниями описания решения, составляющих эти проблемы, прикладных задач –  $TP$ . На рис.1-в представлена коммутативная диаграмма, отображающая разрешение возникающей проблемы на уровне представления состояний  $\check{S}$  взаимодействия информационных систем. При чем указанные категории обладают свойством двойственности, которая может быть

обоснована следующим утверждением – обращение морфизмов категорий: множество проблемных ситуаций –  $P$ ; пространство состояний взаимодействия систем –  $\tilde{S}$ ; множество таксономий онтологии прикладной задачи –  $\tilde{T}$ ; пространство состояний решения прикладной задачи –  $I$ ; отображает переход от рассмотрения процесса формирования упорядоченного множества утверждений по решению задачи на основании концептов таксономии онтологии к построению упорядоченного множества описания состояний взаимодействия онтологий, как информационных систем, по разрешению проблемы.

Указанное обращение морфизмов не нарушает структуру любой из указанных категорий в силу свойств ассоциативности и ацикличности множественной линейной упорядоченности, которые заданы над их элементами [Малишевский, 1998]. Тогда морфизмы рассматриваемых коммутативных диаграмм (рис.1 (а,в)), представимы в виде следующих отображений:

$$\begin{array}{ll} \alpha: P \rightarrow \tilde{T}, & \alpha: P \rightarrow \tilde{T}, \\ \beta: \tilde{T} \rightarrow I, & \beta: \tilde{T} \rightarrow I, \\ \gamma: I \rightarrow \tilde{S}, & \gamma^{op}: \tilde{T} \rightarrow \tilde{S}, \\ \delta: P \rightarrow \tilde{S}, & \delta: P \rightarrow \tilde{S}, \\ \alpha \times \beta \in \vartheta: P \rightarrow \tilde{S} & \gamma^{op} \times \beta \in \vartheta^{op}: \tilde{T} \rightarrow I \end{array} \quad (1) \quad (2)$$

могут являться функторами, обеспечивающими обратимость между множеством проблемных ситуаций и описаниями состояния решения задач, а значит, и множеством таксономий онтологии задач и множеством описаний состояний взаимодействия онтологических систем.

### Категории задач

Функторы вида (1) и (2) обеспечивают отображения между множественными структурами, определяющими формулирование начальных условий решения прикладных задач, которые могут быть выделены при анализе проблемных ситуаций. Также они представляют пространство множественных переходов между категориями, представленных на рис.1 (а,в) и связанных выражениями (1) и (2), как топологические множества в процессе нахождения искомого решения задачи в виде истинного элементарного утверждения.

Собственно категория задача представима в виде тройки, заданной следующим кортежем:

$$TP = \langle K, K^*, Aim \rangle \quad (3)$$

где:  $K$  – модель ПрО, отображающая проблемную ситуацию;  $K^*$  – кортеж состояний ПрО, актуализирующихся на каждом этапе достижения целей решения задачи и представимых в виде описаний состояний задачи;  $Aim$  – упорядоченное множество целей решения задачи, представимое в виде  $Aim = F \times R$ ,  $F$  – множество интерпретирующих функций онтологии, используемой при решении задачи, а  $R$  – множество отношений между концептами онтологии.

$$K^* = \langle K_0, K_1, \dots, K_i, \dots, K_n \rangle \quad (4)$$

Тогда процесс решения задачи представим определенной последовательностью описаний состояний  $I$  взаимодействия информационных систем в виде упорядоченных элементарных утверждений, каждое из которых наследует все свойства и отношения концептов, составляющих предшествующее утверждение. При этом над категорией утверждений и множеством целей могут быть заданы отображения вида (1) – (2). Тогда описания состояний процесса решения прикладной задачи, исходя из выражений (1) – (4), представимы в следующем виде:

$$I = \langle K, K^*, F \times R, X, R_t, F, A, (X \times R_t \times R_s, R^+ \times R_t) \rangle \quad (5)$$

где:  $A$  – множество аксиом;  $R_s$  – множество ограничений  $R_s = R^+ \times R$ ;  $R_s$  рассматривается как замыкание отношений  $R_t$ ;  $R^+$  – множество свойств, характеризующих концепты подмножества таксономий  $\check{T}$  онтологии, над которыми заданы бинарные отношения  $R_t$ .

При этом следует учитывать, что каждое описание состояний представимо в виде элементарных утверждений, содержащих концепты определенных онтологических систем.

Определим категории задач непосредственно связанные с формированием утверждений, представляющих промежуточные и конечные решения. К ним отнесем следующие категории [Нильсон, 1973, Довгялло, 1981], которые будем называть *метазадачами*:

*задача анализа* – выделение проблемы ( $P$ ) → цели ( $Aim$ ) → функции ( $F$ ) → структуры ( $I$  – состояние), такую задачу часто называют прямой;

*задача формирования структуры* ( $I$ ) → функции ( $F$ ) → цели ( $Aim$ ) → проблемы ( $P$ ), такую задачу называют обратной задачей;

*задача синтеза* – формулирование нового концепта онтологии и/или утверждения в порядке рассмотрения от проблемы к структуре, формулируется в виде правил вывода;

*задача выбора* – формирование непустого множества концептов онтологии задачи на основе специально отобранного множества свойств, используемых в качестве определенных критериев для формулирования истинных утверждений о состоянии ее решения.

Указанные категории задач практически присутствуют на каждом этапе процесса решения любой прикладной задачи. Тем самым они влияют на формирование описаний состояний ее решения. Особую роль играет *задача выбора*, каждое состояние решения которой обеспечивает корректную формулировку утверждений, как последовательности описаний состояний решения прикладной задачи на основе критериальной гармонизации их свойств.

Именно задача рационального выбора [Микони, 2004] и ее онтологическая система определяют инвариантность использования категорий указанных выше метазадач. Практически на каждом этапе поиска разрешимости проблемной ситуации  $P$ , выполняется анализ ее описания, при котором определяются цели поиска разрешимости  $Aim$ , определяются свойства  $R$  и функции  $F$  обработки исходной информации, описываются возможные структурные состояния  $I$ , которые могут корректно отображать этапы решения. На основании указанных действий формулируются задачи  $TP$ , решение которых обеспечивает разрешимость собственно проблемы. Таксономия предметной области задачи фактически определяет множество концептов – терминов, из которых формулируются истинные утверждения, описывающие последовательности описаний состояний взаимодействия информационных систем. Также таксономия онтологии определяет множественные бинарные отношения упорядоченности, задаваемые над множествами концептов онтологии. Тогда классы, образующие онтологию на основе отношений между концептами или по функциональному признаку, могут являться определенными видами таксономий.

Как уже было отмечено, таксономическая категория  $\check{T}$  может быть представлена в виде топологического множества. Т. е. существует отображение  $f$ , которое переводит таксономию  $\check{T}$  в топологическое множество  $\check{W} : \exists f : \check{T} \rightarrow \check{W}$ . Как уже было отмечено, одним из видов топологического множества является множество графов без циклов –  $\check{G}$ . Тогда интерпретируя выражения (1) – (2) и (4) – (5), которые

---

---

определяют множественность переходов между категориями прикладной задачи, и учитывая условия инвариантности категории метазадач, можно сформулировать следующее утверждение: множество всех таксономий  $\tilde{T}$  является открытым множеством и может индуцировать растущую пирамидальную сеть, представляемую как связанное открытое множество графов без циклов –  $\tilde{G}$ .

Тогда справедливо следующее утверждение: любая проблемная ситуация и/или прикладная задача может быть представлена в виде линейной композиции метазадач.

---

### Заключение

Как видно из приведенных рассуждений в онтологии задач существует категория метазадач, процессы решения которых полностью поглощаются процессами решения прикладных тематических задач. Поглощение реализуется таксономическими структурами онтологических систем прикладной задачи. При этом полностью сохраняется функциональное поле прикладной задачи и обеспечивается постоянная уточняющая и сходящаяся структуризация объектов, составляющих ее постановку и промежуточные решения. Сходимость решения задачи обеспечивается за счет формирования топологического пространства из представления состояний ее промежуточных решений. Тем самым инвариантные задачи онтологических систем обеспечивают конструктивное формирование полного и открытого множества решений прикладной задачи.

---

### Библиография

- [Глушков, 1982] Глушков В. М. Основы безбумажной информатики. — М.: Наука, 1982. — 552 с.
- [Палагин, 2012] Палагин А. В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний / А. В. Палагин, С. Л. Крытый, Н. Г. Петренко. — [монография] — Луганск : изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. — 323 с.
- [Нильсон, 1973] Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений. М.: Мир, 1973. — 273 с.
- [Довгялло, 1981] Довгялло А. М. Диалог пользователя и ЭВМ: основы проектирования и реализации [Текст] / А. М. Довгялло ; АН УССР, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. - К. : Наукова думка, 1981. - 232 с.
- [Шаталкин, 2012] Шаталкин А. И. Таксономия. Основания, принципы и правила [Текст] / А. И. Шаталкин. — М. : Товарищество научных изданий КМК, 2012. — 600 с.
- [Малишевский, 1998] Малишевский А. В. Качественные модели в теории сложных систем [Текст] / А. В. Малишевский. — М. : Наука. Физматлит, 1998. — 528 с.
- [Энгелькинг, 1986] Энгелькинг Р. Общая топология. — М.: Мир, 1986. — 752 с.
- [Гладун, 1994] Гладун В. П. Процессы формирования новых знаний [Текст] / В. П. Гладун. — София : СД «Педагог 6», 1994. — 192 с.
- [Букур, 1972] Букур И., Деляну А. Введение в теорию категорий и функторов. М.: Мир, 1972. — 259 с.
- [Микони, 2004] Микони С. Д. Теория и практика рационального выбора : монография / С. Д. Микони. — М. : Маршрут, 2014. — 463 с.

---

### Информация об авторе



**Стрижак Александр Евгеньевич** — к. т. н., старший научный сотрудник, Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины, Киев-186, 03186, Чоколовский бульвар, 13; e-mail: [sae953@gmail.com](mailto:sae953@gmail.com)

Основные области научных исследований: сетевые онтологические информационно-аналитические системы, поддержка принятия решений