

# МОДУЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОНТОЛОГИЙ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

© 2009 г. В.В. Горюнова

Представлены аспекты разработки онтологий интегрированных систем с базами знаний на основе математического аппарата сетей Петри и систем продукций. Рассматривается модульная онтологическая системная технология (МОСТ-технология), определяющая механизм проектирования, функционирования и разработки интегрированных информационных систем из так называемых онтологических блоков (ОВ).

**Ключевые слова:** онтологии; декларативное моделирование; базы знаний; сети Петри; продукционные системы

## Введение

В инженерии знаний под концептуальной спецификацией (онтологией) понимается детальное описание некоторой проблемной области, которое используется для формального и декларативного определения ее концептуализации. Часто онтологией называют базу знаний специального вида, которую можно разделять, отчуждать и самостоятельно использовать в рамках рассматриваемой предметной области (ПрО) [1].

Можно сказать, что онтология – это точная спецификация некоторой области, включающая в себя словарь терминов этой области и множество логических связей (типа «элемент – класс», «часть – целое»), которые описывают, как эти термины соотносятся между собой. Можно заметить, что при таком подходе понятие онтологии сильно пересекается с уже давно принятым в информатике и лингвистике понятием тезауруса.

Онтологии позволяют представить понятия в таком виде, что они становятся пригодными для машинной обработки. Нередко онтологии используются в качестве посредника между пользователем и информационной системой [2], они позволяют формализовать договоренности о терминологии между членами сообщества, например между пользователями корпоративного хранилища данных систем автоматизированного проектирования.

## 1. Теоретические аспекты методики интерактивного проектирования концептуальных спецификаций (онтологий)

На формальном уровне онтология – система, состоящая из наборов понятий и утверждений об этих понятиях, на основе которых можно строить классы, объекты, отношения, функции и теории.

Онтологические системы строятся на основе следующих принципов:

- формализации, т.е. описания объективных элементов действительности в единых, строго определенных образцах (терминах, моделях и др.);
- использования ограниченного количества базовых терминов (сущностей), на основе которых конструируются все остальные понятия;
- внутренней полноты и логической непротиворечивости.

В отличие от обычного словаря для онтологической системы характерно внутреннее единство, логическая взаимосвязь и непротиворечивость используемых понятий.

**Классификация онтологий.** Практически все модели онтологии содержат определенные концепты (понятия, классы), их свойства (атрибуты, роли), отношения между ними (зависимости, функции) и дополнительные ограничения, которые определяются аксиомами. Классифицировать онтологии можно по различным параметрам (в зависимости от того, с какой целью их классифицируют), например:

- по степени зависимости от конкретной задачи или прикладной области;
- языку представления онтологических знаний и его выразительным возможностям;
- уровню детализации аксиоматизации;
- предметной области.

Дополнительно к этим характеристикам можно ввести и классификации онтологии, связанные с разработкой, реализацией и сопровождением онтологии, но такая типизация более уместна при обсуждении вопросов реализации онтологических систем.

По степени зависимости от конкретной задачи или предметной области обычно различают следующие онтологии [3].

*Онтологии верхнего уровня*, описывающие наиболее общие концепты:

- стадии жизненного цикла изделий (проектирование, производство, эксплуатация и утилизация);
- основные этапы разработки комплексов и систем;
- типовые модели эксплуатации;
- критерии отказов;
- критерии предельного состояния изделия и т.д.

Онтологии верхнего уровня организуют обязательное взаимодействие пользователей с отраслевой нормативно-справочной базой и стандартами предприятия.

*Ориентированные на предметную область.* Во многих дисциплинах сейчас разрабатываются стандартные онтологии, которые могут использоваться экспертами по предметным областям (доменам) для совместного использования и аннотирования информации в своей области. При разработке интегрированной системы онтологии в области машиностроения целесообразным представляется создание общецелевой онтологии, включающей описание требований к изделию, в частности состав изделия, а так же требования:

- назначения;
- радиоэлектронной защиты;
- живучести и стойкости к внешним воздействиям;
- надежности;
- эргономики, обитаемости и технической эстетики;
- к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта;
- транспортабельности;
- безопасности;
- защиты;
- стандартизации, унификации и каталогизации;
- технологичности;
- конструктивности.

*Ориентированные на задачу.* Это онтология, используемая конкретной прикладной программой и содержащая термины, которые используются при разработке программного обеспечения (ПО), выполняющего конкретную задачу по оформлению технологической или эксплуатационной документации [2]. Она отражает специфику приложения, но может также содержать некоторые общие термины (например, конкретные требования по заполнению форм интерактивных документов и общие – сохранить и загрузить файл).

Онтологии ПрО и онтологии задач описывают соответственно словари, которые относятся к определенной ПрО по аспектам (например, конструкторский, технологический, диагностический, метрологический и т.д.) или типичной задаче, например типовой технологический процесс.

При этом они используют специализацию терминов, представленных в онтологиях верхнего уровня.

*Прикладные онтологии* описывают концепты, зависящие как от онтологии задач, так и от онтологии домена. Примером может служить онтология для автомобилей, строительных материалов, вычислительной техники. Онтология ПрО обобщает понятия, используемые в некоторых задачах домена, абстрагируясь от самих задач (так, онтология «образец артиллерийского оружия» независима от любых особенностей конкретных марок образцов).

*Онтологический анализ.* В основе онтологического анализа лежит описание системы в терминах сущностей, отношений между ними и преобразование сущностей, которое выполняется в процессе решения определенной задачи. Основной характерной чертой этого подхода является, в частности, разделение реального мира на составляющие и классы объектов и определение их онтологий или же совокупности фундаментальных свойств, которые определяют их изменения и поведение [4]. Эти подходы и методологии базируются на следующих принципах проектирования и реализации онтологии [5]:

- ясность – онтология должна эффективно передавать смысл введенных терминов, ее определения должны быть объективны, а для их объективизации должен использоваться четко фиксированный формализм;
- согласованность – все определения должны быть логически непротиворечивы, а выводимые в онтологии утверждения, не должны противоречить ее аксиомам;

- расширяемость – онтологию необходимо проектировать так, чтобы ее словари терминов можно было расширять без ревизии уже существующих понятий.

Онтологический инжиниринг подразумевает глубокий структурный анализ предметной области.

Простейший алгоритм онтологического инжиниринга предполагает [6]:

- выделение концептов – базовых понятий данной предметной области;
- определение «высоты дерева онтологий» – количество уровней абстракции;

- распределение концептов по уровням;
- построение связей между концептами – определение отношений и взаимодействий базовых понятий;
- консультации с различными специалистами для исключения противоречий и неточностей.

Минимум влияния кодирования означает: концептуализация онтологии должна быть специфицирована на уровне представления, а не символьного кодирования, минимум онтологических обязательств (онтология должна содержать только наиболее существенные предположения о моделируемой ПрО, чтобы оставлять свободу расширения и специализации).

## 2. Практическое применение онтологических блоков и модульной онтологической технологии

Использование концептуальных спецификаций (онтологий) в области машиностроения предполагает декомпозицию на уровни, которые в большинстве случаев обладают иерархической структурой и взаимодействуют с ресурсами, определяющими функциональные возможности этапов жизненного цикла изделий:

- административно-координационный уровень (проектирование);
- плано-диагностический уровень (производство);
- эксплуатационно-технологический уровень (эксплуатация).

При использовании модульной онтологической системной технологии (МОСТ-технологии) [7] в разработке интегрированных информационных сред предполагается использовать комплексный подход, учитывающий критериальные значения показателей, включаемых в онтологические блоки (ОВ-блоки). Продукционно-событийная (PS) модель является доступным для эксперта предметной области средством формирования концептуальных спецификаций объектов и средств автоматизации по этапам жизненного цикла изделия, определяет поэтапную динамику вертикального управления по цепочкам понятий  $U_i$ , формирующим образы соответствующих PS-моделей:

- $U1 = (\text{motive, goal, task})$  – PS ( $U1$ ) определяет мотивы – цели – задачи;
- $U2 = (\text{necessity, demand and supply, condition})$  – PS ( $U2$ ) определяет потребности, спрос – предложение, условия;
- $U3 = (\text{knowledge, skill, habit})$  – PS ( $U3$ ) определяет знания, умения, навыки;
- $U4 = (\text{plans, strategic, tactics})$  – PS ( $U4$ ) определяет планы, стратегии, тактики.

PS ( $U_i$ ) задает множество событийных входов  $\{P_{ui}\}$  для множества онтологических блоков  $U_i$ -цепочки.

Ресурсные горизонтальные слои определяются ресурсными поверхностями  $R_i$  с координатами labour, resuniary, technical, задающими множество информационных входов по данным  $\{D_{ri}\}$  для трудовых, материальных и технических ресурсов ОВ-блоков (декларантов) уровня  $U_i$  концептуальной спецификации.

При описании организационной структуры интегрированной системы метаонтология имеет следующее формальное описание:  $ONT\_PS = (U_{ov}, Im(R), \Phi_{ov})$ , где  $U_{ov}$  – множество понятий предметной области, определяемых онтологическими блоками,  $|U| \neq \emptyset$ ;  $Im(R) = \{w | w: U^n \rightarrow [0, 1]\}$  – множество нечетких (взвешенных) отношений между понятиями онтологических блоков;  $\Phi_{ov} = PS_{gramm}$  – описание схем процесса «отработки» онтологии (взаимодействия онтологических блоков).

Формально ОВ-блок можно определить кортежем:

$$OV = (\text{Input, Output, PS}_{gramm}),$$

где Input – описание входов онтологического блока;

Output – описание выходов онтологического блока;

PS<sub>gramm</sub> – описание схем процесса «отработки» (тренинга) онтологического блока.

В стандартном варианте при описании классификационных и иерархических структур  $\text{Input} = \{0, 1\}$ , т.е. предусматривается единичный вход в ОВ-блок, который определяет наличие управляющего сигнала: «1» – есть сигнал; «0» – нет сигнала.

При возможном использовании сложных сетевых структур с применением числа управляющих событийных входов  $ip > 1$  и числа входов по данным  $id > 1$ . Такая интерпретация значений Input в значительной мере приближает объектный блок к функциональному блоку стандарта IEC 61499. В этом случае

$$\text{Input} = (\text{PI, DI, AI, WI}),$$

где  $PI = \{p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{ik}\}$  – множество событийных входов;

$DI = \{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}\}$  – множество входов по данным;

$AI = f(p_{ik})$  – логическая функция определения альтернатив при входе в онтологический блок, определяющая условия доступа к событийным входам из внешней среды распределенной сети;

$WI = PI \times DI$  – множество рабочих связей между событиями и данными для входов;

$$\text{Output} = (\text{PO, DO, AO, WO}),$$

где  $PO = \{p_{o1}, p_{o2}, \dots, p_{oi}\}$  – множество событийных выходов;

$DO = \{d_{o1}, d_{o2}, \dots, d_{on}\}$  – множество выходов по данным;

$AO = f(p_{ol})$  – логическая функция определения альтернатив при выходе из онтологического блока, определяющая условия доступа событийных выходов к внешней среде распределенной сети;

$WO = PO \times DO$  – множество рабочих связей между событиями и данными для выходов.

Управление ОБ-блоком задается моделью, определяющей порядок и условия выполнения алгоритмов, содержащихся в онтологическом блоке. Стандартной для «отработки» ОБ-блока является модель, названная PSgramm, определяющая отношение «элемент – группа» для входа Input (или для каждого из событийных входов  $\{PI\}$  при  $p_i > 1$ ) [7]:

$$PSgramm = \langle N, S, F, a, b \rangle,$$

где  $N$  – сеть Петри специального вида [8],  $N = \langle P, T, I, O, M0 \rangle$ ,

$P = \{p_i / i = 1 - n\}$  – множество позиций;

$T = \{t_i / i = 1 - m\}$  – множество переходов;

$I = P * T \rightarrow \{0, 1\}$  – входная функция инцидентности;

$O = T * P \rightarrow \{0, 1\}$  – выходная функция инцидентности;

$M0: P \rightarrow \{0, 1\}$  – начальная маркировка;

$S$  – множество информационных сущностей онтологического блока, представляемых таблицами,  $S = \{s_i / i = 1 - n\}$ ;

$F$  – множество логических формул,  $F = \{f_i / i = 1 - n\}$ ;

$a: P \rightarrow S$  – отображение, задающее «нагрузку» позиций сети информационными сущностями;

$b: T \rightarrow F$  – отображение, задающее «нагрузку» переходов логическими формулами.

ОБ-блок из-за ограничений на его размерность, как правило, порождает небольшое число альтернативных вариантов, пространство которых обозримо для пользователя-исполнителя. Это открывает возможность принятия локальных решений (на уровне онтологического блока), определяющих дальнейший ход проектирования. При принятии решений могут «отсекаться» значительные «пути» сети  $N$ . Понятие сети онтологических блоков описывает только статическое строение системы. Общей в спектре динамических сетевых моделей является условно-событийная система, которая представляет собой сеть, дополненную правилами изменений условий в результате реализации событий, по рангам создаваемых онтологией образов, т.е. сеть Петри можно считать конкретизацией условно-событийной системы и основой образного моделирования эксплуатационно-технологических процессов.

PS-модель предполагает два способа формирования правила-продукции (рис. 1): первый – правило-продукция приписана переходу  $T_j$ ; второй правило-продукция приписана позиции  $P_i$ .

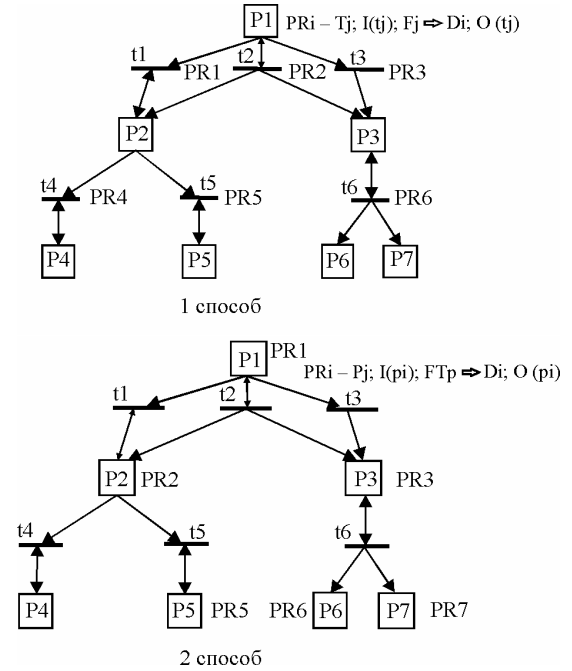


Рис. 1. Формирование правил-продукций

Правило-продукция формально представляется выражением вида:

$$(i), S, P, A = > B, M, \quad (1)$$

В применении к рассматриваемой реализации PS-модели составляющие выражения (1) представляются как:

$i$  – имя продукции:

1) имя перехода  $T_j$ ;

2) имя позиции  $P_i$ .

$S$  – сфера применения продукции – событийные входы ОБ-блока ( $PI$ );

1) расширенная входная функция  $I(T_j)$ ;

2) входная функция  $I(P_i)$ .

$P$  – условие применимости ядра продукции-входы по данным ОБ-блока ( $DI$ ).

$A = > B$  – ядро продукции. Выражение  $A$  устанавливает условия определения вершины с именем  $P_i$ :

1)  $FP_i$  – формула из выражений алгебры последовательностей, приписанная переходу;

2)  $FT_j$  – формула из выражений алгебры последовательностей, приписанная вершине, формируемая из входных переходов позиции.

Выражение  $B$  инициирует процесс назначения параметров элемента вершины.

При определении элементов, находящихся в выражениях  $A$  и/или  $B$ , используются параметры трех групп:

$V_z$  – параметры-значения, т.е. постоянные, не изменяющиеся параметры;

$V_p$  – параметры-переменные, значения которых определяются с помощью обращения к внешней среде, т.е. обращение к пользователю;

$V_f$  – параметры-функции.

Обращение к параметрам элемента осуществляется посредством указания имени элемента и имени параметра, например: ОТВЕРСТИЕ.D – диаметр отверстия.

M – постусловия продукции. Постусловия активизируются только в случае реализации ядра продукции. Постусловия продукции описывают действия, которые необходимо выполнить после реализации V. Постусловие M определяет взаимосвязь продукции с аппаратом активизации:

- 1) расширенная выходная функция  $O(T_j)$ ;
- 2) выходная функция  $O(P_i)$ .

Примеры продукции:

$(T11); I(P9)$ ; ЕСЛИ ОТВЕРСТИЕ.D > 10

ТО ОПЕРАЦИЯ = СВЕРЛИЛЬНАЯ;  $O(P11, P12)$ .

T11 – имя продукции;  $I(P9)$  – условие применимости продукции;

ЕСЛИ ОТВЕРСТИЕ.D > 10 ТО ОПЕРАЦИЯ = СВЕРЛИЛЬНАЯ – ядро продукции;

$O(P11, P12)$  – постусловия.

Процессы (задачи) взаимодействуют между собой и с внешним окружением посредством потоков (информационных, материальных, финансовых и др.). Потоки могут соответствовать как мобильным объектам, «пропускаемым» через систему (заказы, изделия и их компоненты, перемещаемые грузы), так и ресурсам, поддерживающим жизнедеятельность описываемой системы (сырье, энергия, человеческий фактор) [9]. Декларативная онтологическая модель отображает взаимодействие задач с декларантами элементов потоков, заключающееся во внесении операцией элементов в декларант (ОВ-блок), изъятии операцией элементов из декларанта, преобразовании элементов внутри декларанта согласно заданному (для данного декларанта) жизненному циклу объектов – элементов потока.

### Заключение

Технология применения онтологических описаний производственных процессов в машиностроении может быть представлена разработкой:

- методов формализованного описания, моделирования, верификации, трансформации и реализации структурных схем онтологических блоков;

- архитектур эффективных систем распределенного управления (в частности, на основе производственных систем);

- методологии объектно-ориентированного и агентно-ориентированного проектирования программно-аппаратного обеспечения для систем распределенного управления;

- методов организации банков и хранилищ данных с применением принципов распределенного управления на основе МОСТ-технологии;

- проектирования и использования поисковых и трансформационных систем на основе МОСТ-технологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Невзорова О.А. Онтологический уровень: формальные спецификации знаний // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2001. №3. С. 43 – 47.
2. Невзорова О.А. Инструментальная система визуального проектирования онтологий // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2006. №3. С. 59 – 67.
3. Соловьев В.Д., Иванов В.В., Поляков В.Н. Обзор онтологий верхнего уровня // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2006. №3. С. 53 – 59.
4. Maedche A., Staab S. Tutorial on Ontologies: Representation, Engineering, Learning and Application // ISWC'2002.
5. Farquhar A., Fikes R., Rice J. The Ontolingua server: A tool for collaborative ontology construction // International Journal of Human-Computer Studies, 46(6) 1997. Pp. 707 – 728.
6. Gruber N.R. A Translation approach to portable ontologies // Knowledge Acquisition. 1993. №5(2). Pp. 199 – 220.
7. Горюнова В.В. Модульная онтологическая системная технология в управлении промышленными процессами // Приборы и системы. 2008. №2.
8. Горюнова В.В. Модели и методы проектирования технологических процессов механообработки на основе сетей Петри / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М. 1994. 22 с.
9. Горюнова В.В. Модульная технология в интеллектуальных информационных системах // Науч.-техн. сб. ст. «Динамика гетерогенных структур». Вып. №4. 2008. Пенза: Изд-во ПГУ, 2008.

Поступила в редколлегию 04.09.09

## ON MODULAR IMPLEMENTATION OF INTEGRATED PRODUCTION SYSTEM ONTOLOGIES

V.V. Goryunova

We deal here with some aspects of developing the ontologies of integrated systems with knowledge bases using as the base the mathematical apparatus of Petri nets and production systems. Also considered is the modular ontological system technology (MOST technology) that specifies the mechanism of design, functioning, and development of integrated information systems consisting of the so-called ontological blocks (OB).

**Key words and expressions:** ontology; declarative simulation; knowledge bases; Petri nets, production systems.

Горюнова Валентина Викторовна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Артиллерийское вооружение и информатика» Пензенского артиллерийского инженерного института, gvv@mail.ru.