

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.0015+00253.004.89

В. В. Горюнова

ДЕКЛАРАТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ СПЕЦИФИКАЦИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Аннотация. Представлены основные положения декларативного динамического моделирования и аспекты разработки концептуальных спецификаций эксплуатационно-технологических процессов в машиностроении на основе математического аппарата сетей Петри и систем продукций. Определяются общие положения анализа концептуальных спецификаций (онтологий) интегрированных интеллектуальных систем на основе формального аппарата алгебры последовательностей с использованием критериальных модельных оценок.

Ключевые слова: декларативное моделирование, онтология, онтологический анализ, информационные системы.

Abstract. In this article substantive provisions of declarative dynamic modelling and aspects of development of conceptual specifications of performance and technological processes in mechanical engineering are submitted on the basis of the mathematical device of networks Petri and systems of productions. General provisions of the analysis of conceptual specifications (ontology) integrated intellectual systems are determined on the basis of the formal device of algebra of sequences with use criterial modelling estimations.

Keywords: declarative modelling, ontology, analysis of ontology, information system.

Введение

Декларативное моделирование онтологии предполагает разработку формальных и визуально-графических средств реализации следующих важных задач:

- 1) обозначение целей и области применения создаваемой онтологии;
- 2) построение онтологии, которое включает:
 - фиксирование знаний о проблемной области (ПрО), т.е. определение основных образов и их взаимоотношений в выбранной предметной области; создание точных непротиворечивых *определений* для каждого основного образа и отношения; определение терминов, которые связаны с этими образами и отношениями;
 - кодирование, т.е. разделение совокупности *основных образов*, используемых в онтологии, на *отдельные классы*;
 - выбор или разработку формальных средств (специальных языков для представления онтологии);

– непосредственно задание фиксированной концептуализации на выбранном языке представления знаний;

3) совместное применение пользователями (исполнителями) структуры интегрированных интеллектуальных систем (ИИС);

4) обеспечение возможности использования знаний (ПрО);

5) создание явных допущений в ПрО, лежащих в основе реализации;

6) отделение знаний ПрО от оперативных знаний;

7) анализ знаний в ПрО.

1 Общие принципы онтологического анализа

Понятия онтологии и онтологического анализа вошли и в процедуры, и в стандарты моделирования производственных и эксплуатационно-технологических процессов [1].

Существует много сложных формаций или систем, созданных и поддерживаемых человеком, таких как коммерческие предприятия, корпорации и т.д. Эти системы представляют собой совокупность взаимосвязанных между собой объектов и процессов, в которых определенные объекты тем или иным образом участвуют. Онтологическое исследование подобных сложных систем позволяет накопить ценную информацию об их работе, результаты анализа которой будут иметь решающее значение при проведении процесса реорганизации существующих и построении новых систем [2].

В основе онтологического анализа лежит описание системы (организации или предприятия) в образах ПрО, отношений между ними и преобразование сущностей, которое выполняется в процессе решения определенной задачи.

Основной характерной чертой этого подхода является разделение реальных процессов на составляющие образы и классы образов и определение их онтологий или же совокупности фундаментальных свойств, которые определяют их изменения и поведение [3].

Онтологический инжиниринг подразумевает детальный структурный анализ предметной области. Простейший алгоритм онтологического инжиниринга может быть представлен следующими составляющими:

– выделение *образов – базовых понятий* данной предметной области;

– определение «высоты дерева онтологий» – количество уровней абстракции;

– распределение образов по уровням;

– построение связей между образами – определение отношений и взаимодействий базовых понятий;

– консультации с различными специалистами для исключения противоречий и неточностей.

Онтологический анализ обычно начинается с составления словаря терминов, который используется при обсуждении и исследовании характеристик объектов и процессов, составляющих рассматриваемую систему образов, а также создания системы точных определений этих образов. Кроме того, документируются основные логические взаимосвязи между соответствующими введенным образам понятиями. Результатом этого анализа является словарь образов, точных их определений и взаимосвязей между ними.

Таким образом, онтология содержит совокупность образов и правила, согласно которым эти образы могут быть скомбинированы для построения

достоверных утверждений о состоянии рассматриваемой системы в некоторый момент времени. Кроме того, на основе этих утверждений могут быть сделаны соответствующие выводы, позволяющие вносить изменения в систему образов для повышения эффективности ее функционирования.

Для моделирования сложных эксплуатационно-технологических систем разработан ряд методологий, например методологии семейства IDEF (Integrated DEFinition). IDEF содержит 14 государственных стандартов США, созданных в рамках предложенной ВВС США программы компьютеризации промышленности ICAM. Они предназначены для анализа процессов взаимодействия в производственных системах. Для поддержки онтологического анализа предназначена методология IDEF5.

Процесс построения онтологии, согласно IDEF5, состоит из пяти основных действий:

- 1) *изучение и систематизирование начальных условий* – это действие устанавливает основные цели и контексты проекта разработки онтологии, а также распределяет роли между членами проекта;
- 2) *сбор и накопление данных* – на этом этапе происходит сбор и накопление необходимых начальных данных для построения онтологии;
- 3) *анализ данных* – эта стадия заключается в анализе и группировке собранных данных и предназначена для облегчения построения терминологии;
- 4) *начальное развитие онтологии* – на этом этапе формируется предварительная онтология на основе отобранных данных;
- 5) *уточнение и утверждение онтологии* – заключительная стадия процесса.

В любой системе существуют две основные категории: характеризующие состояние системы, объекты, составляющие систему, и взаимосвязи между этими объектами.

На начальном этапе построения онтологии должны быть решены следующие задачи:

- создание и документирование словаря терминов;
- описание правил и ограничений, согласно которым на базе введенной терминологии формируются достоверные утверждения, описывающие состояние системы;
- построение модели, которая на основе существующих утверждений позволяет формировать необходимые дополнительные утверждения.

Для поддержания процесса построения онтологии в IDEF5 разработаны специальные онтологические языки: схематический язык (Schematic Language-SL) и язык доработок и уточнений (Elaboration Language-EL).

Язык SL (рис. 1) позволяет строить разнообразные типы диаграмм и схем в IDEF5. Основная цель всех этих диаграмм – наглядно и визуально представлять основную онтологическую информацию.

Существуют четыре основных вида, которые используются для накопления информации об онтологии в прозрачной графической форме:

- 1) *диаграмма классификации (Classification Schematics)* – обеспечивает механизм для логической систематизации знаний, накопленных при изучении системы;
- 2) *композиционная схема (Composition Schematics)* – механизм графического представления состава классов онтологии, позволяющий описывать,

что из каких частей состоит, т.е. наглядно отображать состав объектов, относящихся к тому или иному классу;

3) *схема взаимосвязей (Relation Schematics)* – инструмент визуализации и изучения взаимосвязей между различными классами объектов в системе;

4) *диаграмма состояния объекта (Object State Schematics)* – средство документации процессов с точки зрения изменения состояния объекта.



Рис. 1 Элементы построения онтологий IDEF5

Таким образом, диаграммы состояния наглядно представляют изменения состояния или класса образов в течение всего процесса.

При построении концептуальной модели используются предметные знания в виде набора образов и связывающих их отношений. Каждый образ имеет имя и может иметь атрибуты, каждый атрибут может иметь значение с учетом специфики предметной области.

Строение и свойства любой системы могут быть эффективно исследованы при помощи словаря образов, используемых при описании характеристик объектов и процессов, имеющих отношение к рассматриваемой системе, точных и однозначных определений всех терминов этого словаря и классификации логических взаимосвязей между этими терминами. Набор этих средств и является онтологией системы, предоставляет структурированную методологию, с помощью которой можно наглядно и эффективно разрабатывать, поддерживать и формализовать ИИС.

2 Анализ онтологий эксплуатационно-технологических процессов в ИИС ЭТ

Проектирование интегрированной информационной системы обработки эксплуатационно-технологической информации (ИИС ЭТ) декомпозируется на этапы. Вместе с тем, ИИС ЭТ имеет целый ряд особенностей, которые определяют характер выполнения отдельных этапов. К таким особенностям относятся следующие:

– коллективное использование знаний предполагает объединение и распределение источников знаний по различным субъектам, а следовательно,

решение организационных вопросов администрирования и оптимизации деловых процессов, связывающих пользователей ИИС ЭТ;

– конкретные источники знаний, особенно внешние, могут добавляться по мере развития проекта;

– поскольку ИИС ЭТ имеет многоцелевое назначение, возникает потребность в интеграции разнообразных источников знаний на основе единого семантического описания пространства знаний.

Таким образом, концептуальная проработка реализации ИИС ЭТ в основном сводится к созданию онтологии, которая выполняется классически в результате взаимодействия исполнителей и экспертов. Разработка и поддержка онтологии в масштабе целого предприятия требует постоянных усилий для ее развития. Так как предприятия часто вовлечены в различные виды деятельности, то для одной ИИС ЭТ может потребоваться несколько онтологий. Для сокращения затрат на разработку онтологии целесообразно использовать онтологии, разработанные специализированными проектными организациями, которые могут использоваться на принципах тиражирования (разделения доступа) и повторного использования.

Для динамического моделирования взаимодействия онтологий (движение потоков) может быть применен формальный аппарат алгебры последовательностей, формальную основу которого составляет алгебра событий [4]. Последовательности онтологий будем выражать булевыми переменными s_i , $i \in \{1, \dots, l\}$, принимающими единичное значение в моменты τ_{s_i} наступления события и нулевое значение во все остальные моменты времени. Формулы событий строятся на базе выражений вида $x_1(=, <, >)x_2$, называемых элементарными сравнениями, где x_1, x_2 – числовые переменные, одна из которых может быть константой. Элементарные сравнения связываются отношениями, набор которых (установленный из опыта) и составляет элементарные операции алгебры последовательностей [5].

Для отношений И, ИЛИ, НЕ множества моментов наступления событий-результатов определяются соответственно пересечением, объединением и дополнением аналогичных множеств для исходных событий, $\{\tau\}$ – множество всех моментов на временной шкале, которые выносятся на уровень декларативного онтологического блока или модуля. Отношения предшествования (следования) отображают ситуацию, когда текущий момент τ наступает одновременно или позже (раньше) момента наступления события s_i (моменты появления событий отмечены жирными точками). Отношение «Интервал» формирует отрезок временной шкалы $\{\tau\}$, ограниченный моментами появления событий s_1 и s_2 , а отношение «Счет» – отрезок $\{\tau\}$, ограниченный моментами k -го и $(k + 1)$ -го появления s_i , $k = 1, \dots, p$. Наконец, отношение «Задержка» сдвигает момент появления s_i вправо по временной оси на ϖ единиц. Заметим, что набор базовых отношений (табл. 1) является открытым и может быть дополнен.

Над формулами последовательностей можно выполнять равносильные преобразования, приводящие к упрощению моделей функционирования систем.

Отношения, представленные в табл. 1, будем интерпретировать как операторы, отображающие булевы переменные s_i входных событий в булеву переменную s выходного (результатирующего) события. Операторная формула – это выражение, полученное путем применения конечного числа раз к пере-

менным s_i операций ИИЛИ алгебры логики к операторам Q, R, I, N, D согласно табл. 1.

Таблица 1

Отношения на множестве последовательностей

Предшествование	$Q(s_i): \tau_{s_i} \leq \tau$
Следование	$R(s_i): \tau_{s_i} > \tau$
Табуляция	$B\left(\frac{s_1}{s_2}\right): (\tau_{s_1} \leq \tau) \wedge (\tau_{s_2} > \tau)$
Период	$P^k(s_i): (\tau_{s_i}^k \leq \tau) \wedge (\tau < \tau_{s_i}^{k-1})$
Опережение	$O^w(s_i): \tau_0 = \tau_{s_i} + w$
Граница левая	$F^x(s_i): (\tau_{s_1} + w) \wedge \dots \wedge (\tau_{s_x} + w)$
Правая граница	$U^x(s_i): (\tau_{s_1} - w_i) \wedge \dots \wedge (\tau_{s_x} - w_x)$

Пример операторной формулы:

$$s = \left(s_1 \vee I\left(\frac{s_1}{s_2}\right) \wedge I\left(\frac{s_1}{s_3}\right) \right) \wedge (s_2 \vee s_3).$$

Маркировка онтологических блоков (ОБ) определяется табл. 2 (когнитивной картой) [6], строки f_i которой соответствуют операциям-переходам, а столбцы y_j – показателям, которые изменяются при выполнении операций: уровням достижимости элементарных целей e_1, \dots, e_N , затратам финансового ресурса $z_{\text{фин}}$, временного ресурса $z_{\text{врем}}$, т.е.

$$y_j \in \{e_1, \dots, e_{N^*}, z_{\text{фин}}, z_{\text{врем}}\}. \quad (1)$$

Принимается, что показатели y_j изменяются (а именно, возрастают) линейно для каждой операции f_i со своим коэффициентом линейности $\beta_{ij} \in [0, 1]$, характеризующим скорость возрастания.

Таблица 2

Коэффициенты зависимости целевых и ресурсных показателей от продолжительности операций

$y_j \backslash f_i$	e_1	e_2	e_3	e_4	$z_{\text{фин}}$	$z_{\text{врем}}$
f_1	+0,5	+1,0	+0,3	+1,0	+0,5	+0,4
f_2	+0,5	+0,1	+0,6	+0,3	+0,5	+0,3
f_3		+0,2			+0,1	+0,1
f_4	+0,65	+0,7	+0,6	+0,9	+0,6	+0,5
f_5	+0,65	+0,7	+0,6	+0,9	+0,6	+0,5
f_6		+0,1			+0,1	+0,1
f_7		+0,1			+0,1	+0,1
f_8		+0,1			+0,1	+0,1

На пересечении строки f_i и столбца u_j таблицы проставляется значение коэффициента β_{ij} , задаваемое экспертом.

Переходы базовой сети Петри помечаются формулами алгебры последовательностей на основе метода, исходящего из сопоставления каждого сценария работы системы последовательности переходов на базовой сети Петри, ведущей из ее начальной маркировки в конечную маркировку.

Выбор оптимального сценария производится по критериям достижения максимального уровня целей и минимальных затрат (финансового и временного ресурсов).

Для этого формируем интегральные показатели уровня достижимости целей и уровня затрат, соответственно:

$$I_E = \sum_{j=1}^{N^*} u_{e_j} \cdot w_{e_j}; \quad I_Z = \sum_{r=1}^{N^{**}} z_r \cdot w_r, \quad (2)$$

где u_{e_j} – уровень достижимости цели e_j ; w_{e_j} – вес цели e_j ; z_r – затраты ресурса r ; w_r – вес ресурса r .

На основании полученных данных определяются условия срабатывания переходов, исходя из процедуры определения оптимальной многоцелевой альтернативы на базе выбранных элементарных целей e_1, \dots, e_N . Процедура основана на классификации многоцелевых альтернатив [7]. Классификация заключается в распределении (сортировке) на классы решений множества альтернатив $A = \{a_i\}, i = 1, \dots, B$, где a_i – значение набора уровней достижимости целей (e_1, \dots, e_N) ,

$$B = (N)^k, \quad (3)$$

где k – число уровней достижимости цели.

Исходя из ограничений на финансовые ресурсы Φ и временные ресурсы V множество A разобьем на классы решений K_1, \dots, K_R , такие что

$$\bigcup_i K_i = A; \quad K_{i_1} \cap K_{i_2} = \emptyset, \quad i, i_1, i_2 \in \{1, \dots, R\}, \quad R \leq B, \quad i_1 \neq i_2. \quad (4)$$

Рассматриваются низкий, средний и высокий уровни достижимости цели, кодируемые соответственно цифрами 1, 2, 3. Имеем два класса решений:

$$K_1(\Phi \leq \Phi_0) \wedge (V \leq V_0) \text{ и } K_2(\Phi > \Phi_0) \vee (V > V_0),$$

где Φ_0, V_0 – варьируемые пороговые значения соответственно капиталовложений и времени выполнения проекта.

«Худшая» альтернатива $e_1 e_2 e_3 e_4 = 1111$ заведомо удовлетворяет введенным ограничениям на ресурсы, т.е. принадлежит классу K_1 , а «лучшая» альтернатива 3333 согласно «ресурсным возможностям» относится к классу K_2 (здесь и далее альтернативы обозначены 4-значными кодами).

Из классов K_1, K_2 приемлемым является класс K_1 .

Вводим бинарное отношение доминирования на множестве A , на основе которого осуществляется классификация: альтернатива $a_i = e_{j_1}, \dots, e_{j_N}$ доминирует над альтернативой $a_j = e_{j_1}, \dots, e_{j_N}$, если для любого $g \in \{1, \dots, N^*\}$ имеет место $e_{ig} \geq e_{jg}$, существует по меньшей мере одно $h \in \{1, \dots, N^*\}$ такое,

что $e_{ih} > e_{jh}$. Например, альтернатива 1113 доминирует над альтернативой 1112, но 1121 не доминирует над 1113 и т.д.

Классификацию альтернатив осуществляем по следующему алгоритму (алгоритм Ларичева):

1. Для каждой альтернативы $a_i \in A$ вычисляем коэффициенты D_i и D'_j , где D_i – число альтернатив, доминирующих над a_i , D'_j – число альтернатив, над которыми доминирует a_i .

2. Из множества A выбираем те альтернативы, для которых $|D_i - D'_i| = \min$.

3. Из полученных в п. 2 альтернатив выбираем те, для которых значение $D_j + D'$ максимально.

4. Если в п. 3 осталось несколько альтернатив, то выбираем любую альтернативу a_p .

5. Классифицируем альтернативу a_p (предъявляем ее эксперту, который относит a_p к одному из классов) и после ее классификации экспертом исключаем a_p из множества A .

6. Если a_p отнесена к классу K_1 , то из множества A исключаем также все альтернативы, которые доминируются альтернативой a_p (относим их к классу K_1); если a_p отнесена к классу K_2 , то из множества A исключаем все альтернативы, доминирующие по отношению к a_p (относим их к классу K_2).

7. Если $|A| > \emptyset$, то возвращаемся к п. 1, если $|A| = 0$, то КОНЕЦ работы алгоритма.

Определение в классе K_1 доминантных альтернатив производим на основе квадратной таблицы, строки и столбцы которой соответствуют альтернативам, принадлежащим выбранному классу. В строке a_i таблицы просматриваются все незаполненные клетки, и в клетку (a_i, a_j) , $i \neq j$, вносится знак «+», если альтернатива a_i доминирует над альтернативой a_j . При этом a_j не доминирует над a_i , и в клетку (a_j, a_i) , симметричную (a_i, a_j) относительно нисходящей диагонали, вносится знак «-».

Незаполненной считается клетка, в которой отсутствует как «+», так и «-». Применение знака «-» сокращает число рассматриваемых пар альтернатив при построчном заполнении таблицы (например, в направлении «сверху вниз»).

Доминантными являются те альтернативы a_j , в столбцах которых нет ни одного знака «+».

Класс K_1 содержит доминантные альтернативы: $a_1 = 3322$, $a_2 = 3232$, $a_3 = 3223$, $a_4 = 2332$, $a_5 = 2323$, $a_6 = 2233$. Выбор оптимальной многоцелевой альтернативы осуществляется по критериям достижимости глобальной цели и риска.

Для каждой отобранной доминантной альтернативы $a_i = e_{j_1}, \dots, e_{j_N}$, содержащейся в классе K_1 , $i \in \{1, \dots, B_k\}$, вычисляем индекс достижимости глобальной цели $I_i^{\text{дост}}$ по формуле

$$I_i^{\text{дост}} = \sum_{j=1}^{N^*} u_j w_j, \quad (5)$$

где u_j – уровень достижимости элементарной цели e_j , $j \in \{1, \dots, N^*\}$; $u_j \in \{1, 2, 3\}$; w_j – вес элементарной цели.

Для каждого уровня достижимости u_j цели e_j эксперт устанавливает набор рисков r_{jk} , $k \in \{1, \dots, h\}$, которые подразделяются на внешние (социальный, экологический и т.д.) и внутренние (ресурсный, технический, организационно-управленческий и т.д.), а также величину этих рисков $r_{jk} \in [0, \dots, 1]$. Рискам r_{jk} присваиваются веса w_{jk} .

Общий риск

$$r_j = \sum_{k=1}^h r_{jk} \cdot w_{jk} \quad (6)$$

Для каждой доминантной альтернативы a_i вычисляем индекс риска $I_i^{\text{дост}}$ по формуле

$$I_i^{\text{дост}} = \sum_{j=1}^{N^*} r_j \cdot w_j \quad (7)$$

Заключение

Разработаны формальные основы методов динамического онтологического анализа последовательностей, потоков и образов, реализуемых средствами декларативного моделирования, базирующегося на сетях Петри.

Список литературы

1. **Maedche, A.** Tutorial on Ontologies: Representation, Engineering, Learning and Application / A. Maedche, S. Staab // ISWC'2002.
2. **Farquhar, A.** The Ontolingua server: A tool for collaborative ontology construction / A. Farquhar, R. Fikes, J. Rice // International Journal of Human-Computer Studies. – 1997. – № 46 (6). – P. 707–728.
3. Function block for industrial-process measurement and control systems. Part 1. Architecture, International Electronical Commission. – Geneva, 2005.
4. **Юдицкий, С. А.** Сценарный подход к проектированию бизнес-процессов / С. А. Юдицкий. – М. : Синтег, 2001.
5. **Горюнова, В. В.** Динамическая модель проектирование технологических процессов / Горюнова В. В. // IV НК Волжского регионального центра РАН, ВНИИЭФ (7–9 июня 2005 г.). – Саров, 2005. – 226 с.
6. **Горюнова, В. В.** Модульная онтологическая системная технология в управлении промышленными процессами / В. В. Горюнова // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2008. – № 2.
7. **Юдицкий, С. А.** Построение потоковых моделей многоагентных иерархических систем / С. А. Юдицкий, Е. Г. Радченко // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2004. – № 2.

Горюнова Валентина Викторовна
кандидат технических наук, доцент,
кафедра артиллерийского вооружения
и информатики, Пензенский
артиллерийский инженерный институт

Goryunova Valentina Viktorovna
Candidate of technical sciences, associate
professor, sub-department of artillery
armament and informatics,
Penza Artillery Engineering Institute

УДК 621.0015+00253.004.89

Горюнова, В. В.

Декларативное моделирование и анализ концептуальных спецификаций эксплуатационно-технологических процессов в машиностроении / В. В. Горюнова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 2 (10). – С. 124–133.