

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Б.В. Палюх, Г.Б. Бурдо

*Кафедра «Технология и автоматизация машиностроения»,
ГУО ВПО «Тверской государственный технический
университет»; pboris@tstu.tver.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: автоматизированное проектирование; искусственный интеллект; описание знаний; технологический процесс.

Аннотация: Приведены результаты исследования описания знаний в автоматизированных системах проектирования и управления технологическими процессами для единичного и мелкосерийного производств с позиций искусственного интеллекта.

Одним из требований, предъявляемым к системам автоматизированного проектирования и управления технологическими процессами в единичном и мелкосерийном производствах, является наличие элементов искусственного интеллекта в процедурах принятия решений. Это во многом определяется способами преобразования информации, заложенными в алгоритмах их функционирования, то есть по существу формой представления знаний.

Известна [1, 2] логическая модель знаний в системах искусственного интеллекта (**ИИ**), формально описываемая

$$M = (T, P, A, F), \quad (1)$$

где T – множество базовых элементов логики; P – множество структурных правил, позволяющих строить из T синтаксически правильные выражения; A – множество аксиом; F – смысловые правила, позволяющие расширять множества аксиом за счет других выражений.

Однако учитывая, что в настоящее время при разработке систем автоматизированного проектирования технологических процессов (**САПР ТП**) и управления технологическими процессами (**АСУТП**) речь может идти лишь о наличии элементов **ИИ** и реализации их с помощью диалоговых комплексов с функциями самообучения, модель (1) может быть модифицирована

$$M = (T, P, A, F, R), \quad (2)$$

где R – проектные функции (**ПФ**), позволяющие непосредственно преобразовывать проектируемый объект из одного информационного C_i состояния в другое C_j . Тогда функция оператора R

$$R = C_i \rightarrow C_j. \quad (3)$$

Процессы проектирования (ПП) в САПР ТП и АСУТП в решающих системах обладают особенностями, обусловленными сложностью и динамичностью объектов проектирования, взаимным влиянием технологических процессов (ТП) и непрерывно изменяющейся среды их функционирования, то есть производственной системы (ПС). Поэтому их разработка, связанная с моделированием ПП в САПР ТП и АСУТП, сопряжена с проблемой выявления механизмов принятия решений на различных уровнях процесса проектирования (механизм А) и поддержания их соответствия реальным условиям ПС, модификации правил принятия решений на основе накопленного знания (механизм Б). Процесс проектирования должен осуществляться и заключаться в преобразовании по определенным правилам исходной информации, имеющейся в задании на проектирование, в информацию, определяющую содержание ТП САПР ТП и календарного плана АСУТП.

Процесс проектирования можно охарактеризовать пятью основными функционально-смысловыми типами преобразования информации.

1. Проектные процессы, в ходе которых производится синтез ТП в САПР ТП или элементов объемных и календарных планов в АСУТП.

2. Информационно-поисковые процессы, в ходе которых выбираются решения на основе типовых рекомендаций.

3. Обслуживающие процессы (ввод и детализация входной информации, обмен информацией, оформление и печать выходной информации, процедуры диалога с оператором-проектировщиком).

4. Процессы обучения оператора-проектировщика, заключающиеся в корректировке его знаний о содержании процессов первых трех типов.

5. Процессы обучения и самообучения решающей системы, то есть перестройка и видоизменение проектных процедур, знаний о ПС, охватывающие первые три типа преобразования.

Практический интерес имеет представление ПП, как логических структур преобразования информации, посредством ПФ R. При этом информационные структуры не должны терять семантического содержания более крупных структур решаемой задачи и проектируемого объекта. Статическая часть R (формализованные правила проектирования) может описываться предикатными и аналитическими зависимостями, табличными и т.п. моделями, графами.

Динамику R определяют:

1) методы оптимизации решений, в том числе эвристические, позволяющие на различных уровнях ПП выбрать оптимальный вариант. При изменении области допустимых решений, критерия (или его модификации) оптимальное решение будет смещено;

2) интуитивные элементы знания, реализуемые путем диалога с оператором-проектировщиком. Это часть знания трудноформализуемая или неподдающаяся формализации с нужной точностью, проявляемая в избирательности процесса принятия решения и в экспертной оценке вариантов решения;

3) механизмы и модели накопления знаний и корректировки ПП, заложенные в решающих системах.

В совокупности эти факторы обеспечат обучение САПР ТП и АСУТП, что позволяет говорить о том, что им будут свойственны элементы искусственного интеллекта, то есть задействован механизм Б. Тогда ПФ R должны состоять из двух множеств элементов: множества функций преобразования R_F (механизм А) и множества функций накопления и корректировки знаний R_M (механизм Б)

$$R = \{R_F, R_M\}. \quad (4)$$

В теории моделирования ПП в настоящее время нет достаточно детального описания взаимодействия элементов функции R_F . Однако анализируя способы, объекты и субъекты преобразования информации в САПР ТП и АСУТП, можно сделать заключение, что процесс принятия решения должен включать аналитические и другого вида оптимизационные, логические и эвристические звенья.

Поэтому функция преобразования R_F состоит из подфункций трех видов [3]

$$R_F = \{ЛФ, ОФ, ЭФ\}, \quad (5)$$

где ЛФ, ОФ, ЭФ – множества логических, оптимизационных и эвристических функций, соответственно представляющих собой объединение частных функций:

$$ЛФ = \bigcup^n ЛФ_i; \quad ОФ = \bigcup^l ОФ_i; \quad ЭФ = \bigcup^m ЭФ_i, \quad (6)$$

где n, l, m – число частных функций.

Логическая функция, включающая качественные и количественные решения, характеризуется статистико-вероятностными связями частных значений результатов и аргументов решения, причем связь на данный момент времени однозначно и полностью определена. С помощью ЛФ могут быть формализованы типовые решения по технологии, структурированы временные затраты на выполнение операции и данные по оборудованию и инструменту вместе с алгоритмами выбора и т.п. Функции представляются в виде табличных, сетевых и перестановочных моделей.

Поэтому сущность x -й ЛФ записывается следующим образом

$$\left\{ \begin{array}{l} q_i = \rho_i \left(\bigcup^l a_{kj} \right); \quad \bigcup^n \rho_i = f_x \equiv ЛФ_x; \quad \bigcup^m q_i = g_x \equiv G_x; \\ \bigcup^l a_{kj} = A_k; \quad \bigcup^p A_k = S_x, \end{array} \right. \quad (7)$$

где $f_x \equiv ЛФ_x$ – дискретное множество информационных преобразований (логическая функция) конкретной области применения; ρ_i – частный оператор $ЛФ_x$ (решающее правило); G_x – область существования результатов решения $ЛФ_x$; q_i – частный результат решения для решающего правила ρ_i ; a_{kj} – частное значение k -го аргумента; A_k – область существования значений k -го аргумента; S_x – совокупность аргументов, влияющих на решения в области G_x .

Дискретность ЛФ определяется дискретностью аргументов и значений результатов решения, а определенность – однозначностью множеств триад $q_i, \rho_i, \bigcup^l a_{kj}$. Однако ЛФ являются ограниченными вследствие ограниченности G_x и S_x .

Их примерами могут служить процедуры назначения планов обработки поверхностей в САПР ТП, выбора элементов времен в САПР ТП и АСУТП и т.п. Логические функции, на первый взгляд, имеют некое подобие аксиом, однако, основное отличие в том, что ЛФ более подвижны, изменяемы и могут модифицироваться в

течение жизненного цикла решающей системы. В каждый конкретный момент времени они могут использоваться и как аксиомы.

Оптимизационные функции учитывают выявленные количественные зависимости результатов решения от значений определенных аргументов с экстремацией определенных характеристик g_i :

$$\left\{ \begin{array}{l} g_i = \varphi_{yi} \left(\bigcup^n a_{kj} \bigcup^m \Pi_{kj} \right); \bigcup^l \varphi_{ki} = O\Phi_y \equiv f_y; \bigcup^m \Pi_{kj} = \Pi_k; \\ \left\{ \begin{array}{l} \bigcup g_i \\ g_{\min} \leq g_i \leq g_{\max} \end{array} \right\} = G_y; \left(\left(\bigcup^q A_{ki} \right) \cup \left(\bigcup^p \Pi_{ki} \right) \right) = S_y, \end{array} \right. \quad (8)$$

где $O\Phi_y \equiv f_y$ – определенная ОФ конкретной области применения; φ_{yi} – аналитический оператор; G_y – область существования результатов решения функции $O\Phi_y$; g_i – частное значение результата решения; S_y – аргументы, влияющие на выбор решения в пределах G_y ; $\bigcup^q A_{ki} = A_k$ – неуправляемые аргументы, независящие от $O\Phi_y$; $\bigcup^p \Pi_{ki}$ – аргументы, оптимизирующие значение результатов решения (управляемые аргументы); Π_k – область существования k -го управляемого аргумента; Π_{ki} – частное значение k -го управляемого аргумента

$$\Pi_k = \bigcup^p \Pi_{ki} = \varphi_{k1} \left(\bigcup^q A_{ki}, E \right); E = \varphi_{k2}(g_i), \quad (9)$$

где E – ожидаемая эффективность результатов решения.

Оптимизационная функция непрерывна вследствие непрерывности аргументов, однако, результаты решения могут быть как непрерывными, так и дискретными. Для ОФ характерны также определенность и ограниченность.

Примерами ОФ с дискретным значением G могут служить зависимость, определяющая оптимальную последовательность обработки поверхностей в операции САПР ТП, или эвристические правила, формирующие календарные планы графики прохождения деталей по операциям АСУТП. Примером ОФ с непрерывным значением результатов может быть случай определения оптимальных режимов резания в САПР ТП.

Эвристические функции, отражающие субъективные знания разработчиков решающих систем или знания оператора-пользователя системы (в режиме диалога), включают неформализованные (неявные) интуитивные решения или триады:

$$\left\{ \begin{array}{l} g_i = \varphi_{zi} \left(\bigcup^l a_{kj}, \bigcup^\infty x_j \right); \bigcup^\infty \varphi_{zi} = \Xi\Phi_z \equiv f_z; \\ \left\{ \begin{array}{l} \bigcup^l a_{kj} \\ a_{\min} \leq a_{kj} \leq a_{\max} \end{array} \right\} = A_k; \bigcup^m A_{kя} = S_{зя}; \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \bigcup_{x_{\min} \leq x_{kj} \leq x_{\max}}^{\infty} x_{kj} \right\} = X_k; \bigcup^p X_{kj} = S_{zH}; S_z = S_{zЯ} \cup S_{zH}; \bigcup^m g_i = G_z,$$

где g_i – частный результат решения, принадлежащий области G_z ; G_z – область существования результатов решения; Φ_z – эвристическая функция определенной, но явно не ограниченной области применения; $S_{zЯ}, S_{zH}$ – множества явных и неявных (неформализуемых) аргументов; S_z – их общее множество (объединение); $A_{kЯ}$ – область существования явного k -го аргумента; a_{kj} – его частное значение; x_k – явно не определенная область существования неявного k -го аргумента; x_{kj} – его частное значение.

Характер решающего правила φ_{zi} не может быть предварительно определен вследствие его неоднозначности из-за наличия неявных аргументов. По мере накопления опыта проектирования уровень неявности φ_{zi} снижается вследствие уменьшения числа неявных аргументов.

Соотношение ЛФ, ОФ и ЭФ в функции преобразования R_F различно для каждого конкретного ПП, но общая закономерность состоит в том, что оно определяется уровнем типизации процесса проектирования, динамикой производственной системы, динамикой жизненного цикла решающей системы и степенью формальности знаний, отражающих исследованность объекта проектирования. При достаточной динамичности областей возможных решений и отсутствии формализованных знаний о проектируемом объекте функция R_F будет состоять из элементов всех трех типов.

Динамика R_F состоит в следующем. При отсутствии типовых решений в процессе проектирования участвуют ОФ и ЭФ. Этот случай соответствует тем областям ПП, где отсутствует значительный практический опыт, то есть достаточно новым проектируемым объектам, тогда:

а) выявляются оптимальные значения g_i из известных областей G_y при использовании ОФ_y для определенных значений аргументов;

б) выявляются новые значения g_i из областей G_z , некоторые неявные аргументы $\bigcup^{\infty} X_{ky}$ и решающие правила принятия решений для них ЭФ. Таким образом, выявляются новые триады решений, при этом появляются новые знания как об объекте проектирования, так и об аргументах, определяющих его состояние. Это позволит синтезировать и новые правила информационного преобразования пространства поиска решений. Следовательно, можно говорить о работе механизма накопления и корректировке знаний R_M . При неоднократном подтверждении решений, помимо эвристического знания, пополняются множества G_x, P_i, S_x , то есть формируются новые ЛФ, накапливая опыт информационного проектирования объекта

$$R_M : \Delta \left(\bigcup^k \text{ЛФ} \right) = F_1 \left(\bigcup^m \text{ОФ}_i, \bigcup^m \text{ЭФ}_i \right), \quad (11)$$

где $\Delta \left(\bigcup^k \text{ЛФ} \right)$ – приращение, увеличение знаний, охватывающих типовые проектные решения.

Процедуры (10) и (11) описывают процессы первого типа преобразований информации. Для статичных объектов проектирования необходимость в ОФ и ЭФ после некоторого временного интервала функционирования отпадает, как и необходимость в корректировке G_x, P_i, S_x . В этом случае процедура поиска решения ограничивается ЛФ

$$R_F = F_2 \left(\bigcup^k \text{ЛФ}_i \right). \quad (12)$$

Выражение (12) описывает вид ПФ для второго типа преобразования информации, то есть информационно-поисковые процессы, к которым сводится ПП. Процессы, имеющие не семантическое, а общеинформационное содержание, относятся к третьему типу. Структура и функция процессов четвертого и пятого типов принципиально одинаковые – разница в том, что в первом случае мы говорим о накоплении эвристических знаний у оператора, а во втором – новых знаний в решающей системе. Учитывая, что в ПП участвуют оба элемента, при укрупненном представлении мы их можем не разделять. Таким образом, процессы четвертого и пятого типов, описываемые R_M , представляют собой правила накопления знаний:

$$R_M : R_F^2 = F_3 \left(\bigcup^n \text{ЭФ}, \bigcup^m \text{ОФ} \right); R_{FH} = F_4(R_F, R_F^2), \quad (13)$$

где R_F^2 – функция преобразования второго вида; R_{FH} – новое содержание функции преобразования.

Достоверное проектное решение R_F^2 , выявленное неоднократной проверкой эвристических решений, полученно с помощью ОФ. Отличие R_F от R_F^2 в том, что в ней обобщены закономерности ПП, описываемые не только с помощью R_F (ранее имеющиеся знания), но и с использованием R_F^2 . Тогда

$$R_{FH} = \left(\left(\bigcup^k \text{ЛФ}_i \right)_H \cup \left(\bigcup^m \text{ОФ}_i \right)_H \cup \left(\bigcup^n \text{ЭФ}_i \right)_H \right), \quad (14)$$

причем:

$$\begin{aligned} \left(\bigcup^k \text{ЛФ} \right)_H &= \left(\bigcup^x \text{ЛФ}_i \right) \cup \Delta \left(\bigcup^x \text{ЛФ}_i \right), & \left(\bigcup^m \text{ОФ} \right)_H &= \left(\bigcup^y \text{ОФ}_i \right) \cup \Delta \left(\bigcup^y \text{ОФ}_i \right), \\ \left(\bigcup^n \text{ЭФ} \right)_H &= \left(\bigcup^z \text{ЭФ}_i \right) \cup \Delta \left(\bigcup^z \text{ЭФ}_i \right), \end{aligned} \quad (15)$$

где $\Delta \left(\bigcup^x \text{ЛФ}_i \right)$, $\Delta \left(\bigcup^y \text{ОФ}_i \right)$, $\Delta \left(\bigcup^z \text{ЭФ}_i \right)$ – изменения составляющих R_F .

Из (11) и (13) логически следует:

$$R_M : \Delta \left(\bigcup^y \text{ОФ}_i \right) = F_5 \left(\bigcup^n \text{ЭФ}_i \right) \text{ и } R_M : \Delta \left(\bigcup^z \text{ЭФ}_i \right) = F_6 \left(\bigcup^n \text{ЭФ}_i \right). \quad (16)$$

Таким образом, можно сделать вывод о том, что процессы первого типа с участием ЛФ, ОФ, ЭФ являются наиболее общими в механизме А (5), (6), (10), определяя основу оператора R_F . Механизм Б описывается формулами (11), (13)–(16), отображающими функцию накопления и корректировки знаний R_M . Модель ПФ $R = \{R_F, R_M\}$ позволяет учесть в каждом конкретном состоянии $S = \bigcup A_k$ динамику развития факторов, установленных на момент разработки модели ПП и тех, которые будут выявляться при осуществлении ПП за период его жизненного цикла.

При моделировании ОФ и ЭФ используются процедуры (16), методом экспертных оценок может быть обеспечена их рациональная компоновка в R_F . Формализация ЛФ по зависимости (11) выполняется с обоснованным ограничением составляющих ее элементов.

Выводы

Элементы такого подхода были реализованы при создании моделей ПП в комплексной САПР ТП – АСУТП для организации, изготавливающей геофизические приборы малыми сериями, и позволили сократить трудоемкость расчетов за счет формализации проектных процедур, наличия подсказок оператору, формируемых на основе накопления опыта и анализа возможных ситуаций на следующих этапах проектирования.

Список литературы

1. Попов, Э.Ф. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта / Э.Ф. Попов, Г.Р. Фирман. – М. : Физматлит, 1976. – 456 с.
2. Казаков, П.В. Автоматизация концептуального проектирования технических систем на основе применения системологии инженерных знаний / П.В. Казаков // Материалы IX национ. конф. по искусств. интеллекту. – М. : Физматлит, 2004. – С. 994–1001.
3. Бурдо, Г.Б. Повышение производительности обработки на многооперационных станках с ЧПУ путем оптимизации процесса проектирования операций : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.07 : защищена 14.11.1983 : утв. 15.04.1984 / Бурдо Георгий Борисович. – М., 1983. – 231 с.

Knowledge Representation in Computer-Aided Designing and Management of Production Processes

B.V. Palyukh, G.B. Burdo

*Department "Technology and Automation of Engineering",
Tver State Technical University; pboris@tstu.tver.ru*

Key words and phrases: automated designing; artificial intelligence; knowledge description; technological process.

Abstract: The paper presents the results of research into knowledge description in computer-aided systems of designing and management for machine-building plant with individual and small-scale production from the position of artificial intelligence.

Vorlegung der Kenntnissen in den Systemen der automatisierten Projektierung und der Steuerung von den technologischen Prozessen

Zusammenfassung: Im Artikel werden die Ergebnisse der Untersuchung der Kenntnissenbeschreibung in den automatisierten Systemen der Projektierung und der Steuerung von den technologischen Prozessen für die Einzel- und Kleinserienproduktion vom Standpunkt der Kunstintelligenz angeführt.

Présentation des connaissances dans les systèmes de la conception automatisée et de la commande des processus technologiques

Résumé: Dans l'article sont cités les résultats des études de la description des connaissances dans les systèmes de la conception automatisée et de la commande des processus technologiques pour une production unitaire et celle des petites séries à partir du point de vue de l'intellect artificiel.

Авторы: *Палюх Борис Васильевич* – доктор технических наук, профессор, ректор; *Бурдо Георгий Борисович* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология и автоматизация машиностроения», ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет».

Рецензент: *Мешков Владимир Валентинович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и автоматизация машиностроения», ГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет».
