

УДК 004.89

И.В. ШОСТАК, О.В. ПАЛУН, Д.А. БАСТЕЕВ*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина***ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТАХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ**

Рассмотрен подход к синтезу ядра экспертных систем, используемых для поддержки принятия решений административно-управляющим персоналом уровня участка, на основе логических моделей представления знаний о временных (темпоральных) зависимостях между событиями, имеющими место в ходе реализации производственных процессов.

логические модели представления знаний, псевдофизические логики, темпоральные логики, экспертные системы

Введение

Современный этап автоматизации производства имеет устойчивую тенденцию к активизации информационных ресурсов предприятия проявляющуюся в использовании наряду с базами данных и баз знаний [1]. Активные информационные ресурсы дают возможность решать важнейшую в условиях рыночной экономики проблему резкого сокращения сроков, трудоемкости и стоимости конструкторско-технологической подготовки производства новых изделий [2]. Такие ресурсы позволяют автоматизировать весь объем рутинной, расчетной, поисковой, оформительской работы, оставляя за инженером преимущественно творческие функции. Они делают индивидуальный инженерный опыт достижением всего коллектива, включая молодых и малоопытных сотрудников, обеспечивая при этом преемственность развития творческого потенциала предприятия и постоянное повышение этого потенциала за счет накопления и корректировки знаний. В последние годы на рынке программного обеспечения представлены программные комплексы и средства разработки, воспроизводящие основные этапы CALS-технологии [3]. Эти программные продукты могут быть условно разделены на два вида: последние вер-

сии CAD/CAM/CAE/PLM систем, такие как Uni-graphics [4] и EUCLID[5], которые имеют в своем составе интеллектуальную компоненту; системы построенные на идее «тотальной интеллектуализации», например СПРУТ[6]. В первом случае речь идет об использовании в рамках программного комплекса батареи экспертных систем, которые по своей природе являются закрытыми системами, что вступает в противоречие с идеологией CALS. Принципиальный же недостаток СПРУТ-технологии состоит в игнорировании информационного ресурса, накопленного ранее на предприятии и существующего в форме различных АСУ и САПР.

Таким образом, в настоящее время актуальна проблема создания методов анализа и синтеза производственных автоматизированных информационных систем (АИС), которые бы сочетали в себе все элементы CALS-технологии с технологией комплексной интеллектуализации бизнес-процессов машиностроительного предприятия.

Особую актуальность проблема синтеза интеллектуальной CALS-системы приобретает в самолетостроении, где мелкосерийность производства, частая модификация изделий и большая доля ручного труда обуславливает необходимость как перехода на рельсы CALS-технологии для повышения эффек-

тивности производства и качества выпускаемых изделий, так и комплексной интеллектуализации для сохранения и развития творческого потенциала сотрудников предприятия.

Задачи синтеза интеллектуальной компоненты системы управления машиностроительным предприятием

Теоретические задачи создания производственных АИС, сочетающих в себе идеологию CALS с использованием знаний подробно освещены в [7]. Реализация же теоретических положений в виде программного комплекса требует решения следующих прикладных задач:

- создание онтологии структуры управления производства, каждый структурный элемент которой является соответствующей его функциям предметной онтологией:

- разработка множества предметных онтологий;
- объединение их в общую онтологию с помощью специальных алгебр [8].

- разработка формальных процедур представления и манипулирования знаниями в рамках производственной АИС:

- создание процедур управления знаниями (Knowledge Management) для реализации задач, связанных с управлением проектами на предприятии;

- синтез процедур коллективного взаимодействия различных центров обработки знаний в производственной АИС на основе концепции мультиагентных систем [9];

- разработка ситуационного эмпирического базиса производственной АИС на основе гипотезы о монотонности пространства решений [10]:

- организация в форме Data Warehouse хранилища прецедентов или ситуаций, имевших место ранее и служащих для обоснования формируемых на основе вывода на знаниях решений;

- интеллектуальная обработка данных ситуационного эмпирического базиса (с привлечением тех-

нологий Data Mining и Knowledge Discovery) для приобретения новых знаний о производстве как объекте принятия решений;

- описание системы ограничений на решения по управлению производством в виде микротеорий, являющихся частными моделями функционирования производства и описываемыми логическими моделями [10].

Среди перечисленных выше задач одной из наиболее важных и плане обеспечения единого информационного пространства предприятия является задача, связанная с разработкой логических моделей знаний и методов эффективного манипулирования этими знаниями для синтеза экспертных систем на нижнем уровне управления – производственном участке. Поскольку на этом уровне управление реализуется в реальном масштабе времени, особую важность приобретает задача создания средств представления знаний о времени на основе описания соответствующих временных (темпоральных) зависимостей данных и знаний.

Цель статьи состоит в описании подхода к синтезу логической модели знаний о временных зависимостях между событиями, происходящими в процессе функционирования производственных участков, а так же интеллектуальной технологии реализации на основе этой модели систем поддержки принятия решений административно-управляющим персоналом.

Постановка задачи синтеза темпоральной логической модели знаний

Для эффективной реализации интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) на уровне производственного участка машиностроительного предприятия необходимо использование явного представления (моделирования) времени как особой субстанции. При этом возникают следующие задачи, называемые задачами темпоральных рассуждений:

1. Поддержка временной согласованности – проверка согласованности базы знаний при добавлении в нее новой информации. В случае несогласованности БЗ необходимо локализовать соответствующие подмножество утверждений и разрешить (или принять) противоречия.

2. Ответы на временные запросы, касающиеся временных аспектов данных и знаний. Запросы могут быть как простыми, например нахождение факта, справедливого в заданный момент времени, так и сложный, например определение момента или интервала времени, когда некоторые множество утверждений станет истинным.

Для решения поставленных задач необходимо создание аппарата для учета временного фактора при моделировании рассуждений о действиях и изменениях т.е. аппарата для представления временных и причинно-следственных (каузальных) зависимостей, например в виде продукционных правил. При этом в сначала выбираются базовые временные примитивы, отношения между ними и свойства времени, определяется таксономия временных рассуждений. Далее устанавливается способ связывания временных утверждений и примитивов и строится формальная система (модель), позволяющая конструировать более сложные высказывания на основе базовых.

Обоснование выбора логики для синтеза темпоральной модели знаний производственной ИСППР

Темпоральные логики – наиболее мощные средства, обладающие большими выразительными возможностями по представлению реальных временных конструкций, чем системы на основе моделирования изменений [1]. Рассмотрим основные элементы таких логик.

В качестве *временных примитивов* используются моменты (в точечных логиках) или интервалы (в интервальных логиках) времени. Причем если в качестве основы используются моменты времени, то

интервалы времени можно представлять в виде упорядоченной пары моментов, соответствующих началу и концу временного интервала. Если же за основу берутся интервалы времени, то момент можно рассматривать как интервал нулевой длины. Разработаны формальные системы, допускающие одновременное использование и интервалов, и моментов времени.

Структура времени определяется исходя из проблемной области. Для этого необходимо принять во внимание следующие аспекты:

– дискретность или непрерывность времени, т.е. определяется ли некий минимальный шаг изменения времени, например 1с, или можно указать сколь угодно малый интервал времени;

– полнота или неполнота времени, т.е. существует ли для любой последовательности, принадлежащей некоторой области интерпретации, предел, также принадлежащий этой области, или данное условие не выполняется;

– ограниченность или неограниченность времени, т.е. рассматривается ли какой-то достаточно большой, но ограниченный интервал времени или интервал не ограничен и возможны события, происходящие через бесконечное время;

– линейность, ветвистость или цикличность времени, т.е. существует ли полностью определенное отношение предшествования во времени для временных примитивов (линейное время) или это условие не выполняется (ветвящееся или циклическое время);

– гомогенность или гетерогенность временных интервалов, т.е. следует или нет из истинности некоторого утверждения над интервалом его истинность над подынтервалами этого интервала.

Временные зависимости могут быть двух типов – количественные и качественные. Количественные (метрические) зависимости – когда для представления времени используются количественные меры на временной оси, например: "Объект работал 8 ч". Качественные зависимости – когда используется только относительное положение во времени собы-

тий или действий, например: "Сначала оператор сел за пульт, а затем включил систему". Ясно, что это два крайних подхода и выразительность представления увеличится при наличии средств, позволяющих выражать как количественные, так и качественные временные зависимости.

Алгоритмы вывода в темпоральных логиках, являющихся расширением логики предикатов первого порядка, могут базироваться на модификациях классических алгоритмов вывода в этих логиках, например темпоральной резолюции. Отметим, что эффективность этих алгоритмов вывода довольно низка. Существует, однако, популярная в настоящее время темпоральная интервальная логика Аллена, характеризующаяся достаточной выразительностью и наличием полиномиальных алгоритмов вывода, что позволяет ее практическое применение в ИСППР реального времени.

Интервальная логика Аллена как основа темпоральной модели знаний производственной ИСППР

Интервальная логика была предложена Алленом в начале 1980-х годов. В качестве временных

примитивов в ней используются интервалы.

Временной интервал X – это упорядоченная пара (X^-, X^+) , такая, что, $X^- < X^+$, где X^- и X^+ рассматриваются как моменты времени (например, на вещественной оси).

Структура времени может быть любая в зависимости от конкретной ситуации.

Интервальная интерпретация (I -интерпретация) – это функция, отображающая временной интервал на числовую ось.

Множество базисных интервальных отношений BTR (basic temporal relations) определяется через отношения между концами интервалов (табл. 1). *Атомарная формула* XrY , где X и Y – интервалы, а $r \in$ BTR, выполнима в некоторой I -интерпретации, если сохраняется отношение r между конечными точками интервалов.

Для представления неопределенной информации используется объединение базисных отношений, которые принадлежат множеству 2^{13} всех интервальных отношений, включая пустое отношение \emptyset и универсальное отношение I . Множество всех бинарных отношений есть 2^{BTR} .

Таблица 1

Базисные отношения между временными интервалами

Отношение и его инверсия	Обозначения	Иллюстрация	Отношения между конечными точками
X before Y	b		$X^- < Y^-$, $X^+ < Y^+$
Y after X	bi		$X^+ < Y^-$, $X^- < Y^+$
X meets Y	m		$X^- < Y^-$, $X^+ = Y^-$
Y met-by X	mi		$X^+ = Y^+$, $X^- < Y^+$
X overlaps Y	o		$X^- < Y^-$, $X^+ > Y^-$
Y overlapped-by X	oi		$X^+ > Y^+$, $X^- < Y^+$
X during Y	d		$X^- > Y^-$, $X^+ < Y^+$
Y includes X	di		$X^- = Y^-$, $X^+ > Y^+$
X starts Y	s		$X^- = Y^-$, $X^+ < Y^+$
Y started-by X	si		$X^+ > Y^+$, $X^- < Y^+$
X finishes Y	f		$X^- > Y^-$, $X^+ = Y^+$
Y finished-by X	fi		$X^- = Y^-$, $X^+ < Y^+$
X equals Y	e		$X^- > Y^-$, $X^+ = Y^+$

Примечание: X before Y – период X находится перед периодом Y; X meets Y – период X встречается с периодом Y (конец периода X совпадает с началом периода Y); X overlaps Y – период X пересекается с периодом Y; X starts Y – начало периода X, совпадает с началом периода Y; X during Y – период X принадлежит периоду Y; X finishes Y – конец периода X совпадает с концом периода Y; X equal Y – период X равен периоду Y.

Интервальная формула – это формула вида $X\{r_1, \dots, r_n\} Y$ (обозначаемая ϕ), $r_1, \dots, r_n \in BTR$.

Интервальная формула $X\{r_1, \dots, r_n\} Y$ выполнима в некоторой I -интерпретации, если формула $X r_i Y$ выполнима в этой интерпретации для некоторого i , $1 < i < n$.

Конечное множество интервальных формул обозначается θ .

Множество θ – *I-выполнимо*, если существует I -интерпретация (называемая *I-моделью* θ), которая выполняет каждую формулу θ . Если интервальная формула ϕ выполнима каждой I -моделью множества формул θ , то формула ϕ логически следует из θ ($\theta \rightarrow_I \phi$).

Основными задачами вывода (из множества интервальных формул θ) в этой логике являются:

– определить, существует ли I -модель θ (задача ISAT);

– определить для каждой пары интервалов X, Y минимальное отношение между ними, т.е. минимальное множество $R = \{r_1, \dots, r_n\}$ такое, что $\theta \rightarrow_I XRY$ (задача ISI).

Для решения указанных задач в предложено использовать алгоритм поиска с возвратами, но так как он обладает экспоненциальной сложностью, то в качестве приближенного алгоритма может быть применен алгоритм согласования путей. Таким образом, проблема вывода в темпоральной логике сводится к известной проблеме согласования ограничений (Constraint Satisfaction Problem). Для решения этой проблемы построена темпоральная интервальная алгебра, позволившая формализовать алгоритмы в терминах алгебраических операций (об этой алгебре будет сказано ниже).

Множество формул θ может быть представлено в виде *графа временных ограничений (IA-сети)* (interval algebra), вершинами которой являются интервалы, а ребра взвешиваются множествами отношений.

Описание основных алгоритмов, используемых

для решения задачи согласования ограничений (ЗСО) (в контексте временных ограничений). При этом применяются различные эвристические приемы для ускорения работы алгоритмов, в частности, упорядочивание отношений на ребрах графа по значимости, упорядочивание меток, а также комбинирование алгоритмов согласования ограничений и поиска с возвратами.

Заметим, что многообразие алгоритмов решения ЗСО и ее конкретизации в виде задачи согласования временных ограничений (ЗСВО) позволяет построить темпоральную логику, способную решать задачи реальной размерности за приемлемое время. Именно такая возможность является ключевым фактором для выбора нами интервальной логики Аллена в качестве основы системы представления временных и причинно-следственных зависимостей в СППР.

Пример синтеза темпоральной модели знаний ИСППР производственного участка механического цеха

Рассмотрим пример использования системы темпоральных рассуждений, на основе интервальной логики Аллена в ИСППР, предназначенной для мониторинга и прогнозирования состояния участка металлорежущего оборудования типового механического цеха машиностроительного предприятия. Построим фрагмент темпоральной модели знаний о функционировании комплекса, включающего обрабатывающий центр (machine-tool) и контейнер с заготовками (tank) при этом длительность технологической операции (Operation) обработки каждой заготовки задано.

Обрабатывающие центры имеют следующие наблюдаемые значения, считываемые с датчиков с определенной периодичностью: Operation – длительность обработки, level – укомплектованность контейнера заготовками. Сигнализация имеет только одно наблюдаемое значение: status – состояние.

Все состояния данных параметров - временные переменные. При считывании новых значений с датчиков или при их выводе посредством приводимых ниже правил с каждым значением связывается временной интервал (начальный и конечный момент времени), на котором это значение справедливо. Для наблюдаемых переменных определено время жизни значения - тот промежуток времени, в течение которого данное значение остается истинным, если не будет получено новое значение. Для записи правил будем использовать модификацию многосортной логики первого порядка с временными примитивами, причем предикатные символы и имена множеств (сортов) записываются с большой буквы, например запись **Status(tank1, not-ok, t_1 t_2)** означает, что состояние (Status) контейнера (tank1) есть "не в порядке (not-ok)" с момента времени t_1 до момента времени t_2 . Функциональные символы, переменные и константы в правилах пишутся с маленькой буквы, например, запись **reference-operation(machine-tool1)** определяет заданный режим работы обрабатывающего центра machine-tool1.

Сформируем следующий набор правил.

Правило 1:

$$\begin{aligned} \forall x \in Machine - tool \exists y \in Tank \exists z \in Operation \\ \exists t_1, t_2, t_3 \in Time \\ (Associated - tank(y, x) \& Operation(x, z, t_1, t_2) \\ \& z \geq reference - operation(x) \& t_1 < t_2 \& t_1 < t_3 \\ \rightarrow Status(y, not - ok, t_1, t_3)). \end{aligned}$$

Правило 1 устанавливает для любого обрабатывающего центра, связанного с некоторым контейнером, статус контейнера в состояние "не в порядке", когда время, затрачиваемое на обработку становится больше заданного (reference-operation) значения для данной операции.

Правило 2:

$$\begin{aligned} \forall x \in Tank \exists y \in Alarm \exists t_1, t_2, t_3, t_4 \in Time \\ (Associated - alarm(y, x) \& Status(y, not - ok, t_1, t_2) \\ \& t_1 < t_2 \& t_3 < t_4 \& t_1 < t_3 \& t_3 - t_1 \in [4, 8] \\ \rightarrow Status(y, not - ok, t_3, t_4)). \end{aligned}$$

Правило 2 прогнозирует появление сигнала тревоги для любого контейнера, когда его статус становится "не в порядке". Сигнал тревоги появляется в диапазоне от 4 до 8 временных единиц после изменения статуса контейнера ($t_1 < t_3 \& t_3 - t_1 \in [4, 8]$).

Правило 3:

$$\begin{aligned} \forall x \in Alarm \exists y \in Machine - tool \\ \exists t_1, t_2, t_3 \in Time \\ (Associated - machine - tool(y, x) \\ \& Status(x, on, t_1, t_2) \\ \& t_1 < t_2 \& t_1 < t_3 \\ \rightarrow Status(y, filling, t_1, t_3)). \end{aligned}$$

Правило 3 задает изменение статуса любого обрабатывающего центра на "превышается (filling)", как только сработает связанный с ним сигнал тревоги.

Правило 4:

$$\begin{aligned} \forall x \in Machine - tool \exists t_1, t_2, t_3, t_4 \in Time \\ Status(y, filling, t_1, t_2) \\ \& t_1 < t_2 \& t_3 < t_4 \& t_1 < t_3 \& t_3 < t_1 \in [3, 7] \\ \rightarrow Level(x, increasing, t_3, t_4). \end{aligned}$$

Правило прогнозирует, что время затраченное на обработку в любом обрабатывающем центре начнет увеличиваться в интервале [3, 7]

$$(t_1 < t_2 \& t_3 < t_4 \& t_1 < t_3 \& t_3 < t_1 \in [3, 7]),$$

как только его статус изменится на "превышается".

Приведем сценарий временных рассуждений, касающихся формирования как идентификационных, так и прогнозных решений с использованием сформированных выше правила1 и правила2. Длительность операций для обрабатывающего центра machine-tool1 считывается в момент времени $t_0 = 10$. Если это значение больше регламентированного технологическим процессом, то в результате срабатывания правила1 статус контейнера tank1 становится "не в порядке"(идентификационное решение), так как этот контейнер подключен к обрабатывающему центру machine-tool1. Далее с помощью правила 2 делается вывод (прогнозное решение), что сигнал

тревоги alarm1, связанный с контейнером tank1, включится в интервале [14, 18].

Выводы

1. Предложен подход к синтезу темпоральной логической модели знаний для ИСППР уровня производственного участка машиностроительного предприятия, что даст возможность учитывать при формировании решений важнейший, временной аспект функционирования производства на вещественно-физическом уровне.

2. Показано, что в качестве методической основы модели представления временных и причинно-следственных зависимостей в базе знаний ИСППР уровня производственного участка наиболее пригодна интервальная логика Аллена, поскольку она дает возможность построить темпоральную логику для формирования решений в реальном времени.

3. Описана технология синтеза базы знаний ИСППР уровня производственного участка в виде правил особого вида.

4. Процесс формирования идентификационных и прогнозных решений, касающихся функционирования производственного участка проиллюстрирован примером из предметной области «Участок металлорежущего оборудования типового механического цеха».

Литература

1. Джексон, Питер. Введение в экспертные системы. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 624 с.
2. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта: Пер. с франц. – М.: Мир, 1991. – 568 с.
3. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с япон. – М.: Мир, 1989. – 293 с.
4. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 38 с.

5. Воронин Г.П., Якимов О.С. Нормативное обеспечение в области CALS / Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К.: Техника, 2001. – С. 100-111.

6. Братухин А.Г. CALS-стратегическое развитие наукоемкого машиностроения / Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К.: Техника, 2001. – С. 77-81.

7. Шостак И.В., Бастеев Д.А. Применение онтологического представления знаний в многоуровневой системе управления проектами технологической подготовки производства // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». – 2004. – Вып. 24. – С. 136-147.

8. Бастеев Д.А. Синтез онтологии управления проектом технологической подготовки производства на машиностроительном предприятии // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2006. – Вып. 30. – С. 97-106.

9. Бастеев Д.А., Шостак И.В. Интеллектуальная поддержка принятия решений для управления проектом технологической подготовки авиационного производства с использованием онтологического представления знаний // АСУ та прилади автоматизи. – 2004. – № 4. – С. 100-104.

10. Бастеев Д.А. Семантика онтологического представления знаний по управлению технологической подготовкой производства // Міжнародна науково-технічна конференція “Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні” “ІКТМ 2004”: Тези доповідей. – Х.: ХАІ, 2004. – С. 385.

Поступила в редакцию 18.05.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Авраменко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.