

УДК 004.31

О.И. Атакишев, Е.А. Титенко, К.С. Скорняков, В.А. Заичко, А.П. Риос**МОДЕЛЬ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ПРОДУКЦИОННОЙ ПАРАДИГМЫ**

Рассматривается проблема управления сложными техническими объектами на основе продукционной модели вычислений. Предлагается модификация ассоциативного исчисления Туэ для организации параллельных вычислений. Параллельные вычисления проводятся на основе исчислительной модели вычислений. Такой подход позволяет организовать ветвящиеся вычислительные процессы на основе управления ими потоком готовых к обработке данных. Синтезированы два метода управления вычислительным процессом, которые обеспечивают предельный параллелизм вычислений. Методы дополняют друг друга за счет учета полного набора возможных типов параллелизма.

Продукционная система; параллельный вывод; конфликт данных.

O.I. Atakischev, E.A. Titenko, K.S. Skornyakov, V.A. Zaichko, A.P. Rios**MODEL AND METHODS OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS
MANAGEMENT BASED ON PRODUCTIONAL PARADIGM**

The problem considered in the article is about complex technical object management based on production systems. It is proposed to modify Thue associative calculus for organization of parallel computations. Parallel calculations are carried out on the basis of ischislitelny model of calculations. Such approach allows to make branching computing processes on a basis managements of them with a dataflow processing. It is given two methods of control over computing process which provide limiting overlapping of calculations. Methods supplement each other at the expense of the accounting of a totality of possible types of overlapping.

Production system; parallel calculation; data collisions.

Актуальность работы. Одним из приоритетных направлений развития систем управления сложными техническими объектами (СТО) является интеллектуализация вычислений, основанных на применении моделей, методов и технологий параллельной обработки знаний при решении представительного класса задач управления (упреждающее распознавание сложно структурированных ситуаций, обработка разнородных массивов данных, мониторинг и нейтрализация асинхронно формируемых нештатных ситуаций и угроз на техногенных объектах, параллельный вывод в экспертных системах реального времени и др.). По мнению ведущих ученых в области управления СТО (Васильев С.Н., Левин И.И., Окунев Ю.М., Юсупов Р.М., Крайлюк А.Д и др.), целевым ориентиром исследований являются перспективные информационно-аналитические системы специального назначения, основанные на интеграции информационно-вычислительных технологий объединения, поиска, извлечения, семантико-синтаксического анализа и параллельной обработки больших объемов разнородных данных на основе динамично пополняющейся базы знаний [1].

С содержательной точки зрения математические модели, методы и рабочие технологии обработки данных и знаний аппаратом при создании перспективных информационно-аналитических систем специального назначения основываются на возможности символьного представления предметной области и высокоскоростной обработки символьной информации (ОСИ) в рамках продукционной парадигмы [1]. Аппарат продукционных систем (ПС) характеризуется однородностью состава правил, естественной модульностью и легкостью декомпозиции на подсистемы, достаточной гибкостью схемы управления и ее модифицируемостью, что

позволяет рассматривать ПС как корректный инструмент решения проблемных задач поискового характера, имеющих экспоненциальную временную сложность от числа анализируемых состояний. Вместе с тем, известные ПС (нормальные алгоритмы А.А. Маркова, ассоциативные исчисления Туэ, нормальные исчисления Э. Поста, неограниченные грамматики Н. Хомского и др.) имеют недостаточные возможности для эффективной по времени генерации ветвящихся конструктивных процессов, что необходимо для решения представительного класса задач управления СТО. Основная проблема связана с отсутствием объективной информации о динамически изменяемых коэффициентах ветвления решаемой задачи и с непригодностью известных ПС описывать скоординированную работу неединичного множества исполнителей.

Модификация продукционной системы. Данные проблемы определяют необходимость модификации исчислительной ПС. Как известно [2], исчислительная ПС описывается конечным алфавитом A и множеством продукций \mathcal{Z} , задающим недетерминированный процесс вывода множества слов-решений из исходных слов.

Модифицированная исчислительная ПС будет рассматриваться как набор продукций, выполняемых на основе неединичного множества элементарных исполнителей правил, количество которых и связи между которыми динамично реконфигурируются в процессе вывода (генерации) новых конструктивных объектов. Исчислительный характер продукционной системы определяется тем, что схема управления имеет не процедурную, а декларативную основу исполнения. Это означает, что в текущий момент времени к исполнению пригодно несколько продукций, причем достоверной информации предпочтения нет. Таким образом, существенное преимущество исчислительной ПС для организации ветвящихся вычислительных процессов определяется тем, что управление фактически осуществляется потоком готовых к обработке данных на недетерминированных началах, что позволяет теоретически обеспечить предельный параллелизм вычислений.

Пусть задан алфавит A , непустое множество слов A^* в нем. Пусть задана исчислительная ПС как конечный набор разрешительных правил преобразования слов из A^* .

$$\left\{ \begin{array}{l} O_1 \rightarrow P_1 \\ \dots \\ O_i \rightarrow P_i \\ \dots \\ O_j \rightarrow P_j \\ \dots \\ O_n \rightarrow P_n \end{array} \right. \quad (1)$$

где $O_k \rightarrow P_k$ – правило преобразования слов (продукция), $k=1 \div n$, $n \in \mathbb{N}$; $O_i \neq O_n$ – заменяемые слова-образцы в рабочем алфавите A ; $P_i \neq P_n$ – модифицирующие слова-подстановки в рабочем алфавите A ; $\rightarrow \notin A$.

Действия, допустимые над словом S (в рабочем алфавите A) относительно k -й продукции, описываются как конструктивный процесс разложения S на три части (собственное начало, тело и собственное окончание) с минимально возможной длиной собственного начала и замены в слове S первого вхождения $L*O*R$ левой части k -й продукции ее правой частью P . Аналитически работу продукции над словом S можно описать выражением, представленным на рис. 1

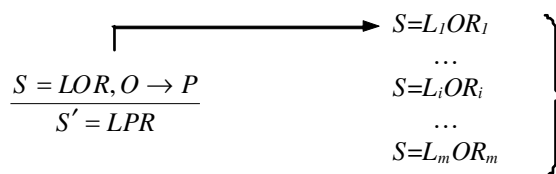


Рис. 1. Срабатывание продукции над S : m – число вариантов разложения слова S , $L_1 \neq L_m$ – упорядоченные по длине префиксы ($L_1 \subset \dots \subset L_i \dots \subset L_m$), $R_1 \neq R_m$ – упорядоченные по длине суффиксы ($R_m \subset \dots \subset R_i \dots \subset R_1$)

Для системы (1) бинарное отношение непосредственной выводимости слова β из слова α обозначается как $\alpha \Rightarrow \beta$. Оно обозначает, что слово β смежно со словом α если существуют такие слова $L, R \in A^*$ что $\alpha = L * O_k * R \in A^*$, $\beta = L * P_k * R \in A^*$ и существует продукция $O_k \rightarrow P_k$.

Пусть $m \in \mathbb{N}$, $\alpha, \beta, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{m-1}, \alpha_m \in A^*$, \Rightarrow^m – m -я степень бинарного отношения \Rightarrow , а \Rightarrow^* – рефлексивное и транзитивное замыкание бинарного отношения \Rightarrow . Тогда линейным выводом длины m слова β из слова α в исчислительной ПС называется последовательность слов $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{m-1}, \alpha_m$, для которых справедливо

$$\alpha_0 = \alpha, \alpha \Rightarrow \alpha_1, \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2, \dots, \alpha_{m-1} \Rightarrow \alpha_m, \alpha_m = \beta. \quad (2)$$

Слово β выводимое из слова α за m шагов в ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^m \beta$. Слово β , выводимое из слова α в ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^* \beta$.

Для описания, исследования и временной оптимизации ветвящихся продукционных процессов в ПС вводится p -значное отношение равноправной выводимости.

Пусть $p \in \mathbb{N}$ и заданы слова $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \beta_p \in A^*$. P -значное отношение непосредственной выводимости слов $\beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \beta_p$ из слова α обозначается как $\alpha \Rightarrow \{\beta\}_p^1$. Оно означает, что слова $\beta_1, \dots, \beta_{p-1}, \beta_p$ смежны со словом α если существуют такие активационные продукции количеством p

$$\begin{array}{l} O_{i_1} \rightarrow P_{i_1} \\ O_{i_2} \rightarrow P_{i_2} \\ \dots \\ O_{i_p} \rightarrow P_{i_p} \end{array} \quad (3)$$

и слова $L_{i_1}, R_{i_1} \in A^*$, $L_{i_2}, R_{i_2} \in A^*$, $L_{i_p}, R_{i_p} \in A^*$, что равноправно возможны следующие представления $\alpha = \{L_{i_k} * O_{i_k} * R_{i_k}\}_p^1 \in A^*$ и $\{\beta\}_p^1 = \{L_{i_k} * R_{i_k} * R_{i_k}\}_p^1 \in A^*$ для $k=1 \neq p$.

Ветвящимся выводом длины m множества слова $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d$ из слова α в исчислительной ПС называется последовательность множеств слов $\alpha_0, \{\alpha_1\}, \dots, \{\alpha_{m-1}\}, \{\alpha_m\}$ для которых справедливо

$$\begin{array}{l} \alpha_0 = \alpha, \alpha \Rightarrow \{\alpha_1\}_{p_1}^1, \alpha_1 \Rightarrow \{\alpha_2\}_{p_2}^1, \alpha_2 \Rightarrow \{\alpha_3\}_{p_3}^1, \dots \\ \alpha_{m-1} \Rightarrow \{\alpha_m\}_{p_m}^1, \{\alpha_m\}_{p_m}^1 = \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d. \end{array} \quad (4)$$

Соответственно множество слов $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_d$, выводимое из слова α за m шагов в ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^m \{\beta\}_d^1$. Множество слов $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_d$, выводимое из слова α в ПС, обозначается как $\alpha \Rightarrow^* \{\beta\}_d^1$.

Для модифицированной ПС задаются отношения линейного и ветвящегося непосредственного следования слов, определяющие два типа преобразований:

1) преобразование единственного экземпляра исходного слова за m шагов вывода и получение одного выходного слова (линейная генерация);

2) преобразование необходимого количества копий исходного слова за m шагов вывода и получение множества выходных слов на равноправных началах (ветвящаяся генерация).

Для ускорения эффективной генерации слов в модифицированной исчислительной ПС наряду со стандартным бинарным отношением $\alpha \Rightarrow \beta$ непосредственной выводимости слов вводится его модификация, обозначаемая как $\alpha \xrightarrow{p} \beta$ и понимаемая как p -значное отношения независимой выводимости на p независимых вхождении. Данная модификация относится к множеству таких активационных продукций (3), что существуют слова $L, T_1, T_2, \dots, T_{p-2}, R \in A^*$ и возможен один из альтернативных вариантов представления смежных слов α и β

$$\alpha = L * O_{i_{k_j}} * T_1 * O_{i_{k_j}} * T_2 * \dots * O_{i_{k_j}} * T_{p-2} * O_{i_{k_j}} * R \in A^* \quad (5)$$

и соответственно

$$\beta = L * P_{i_{k_j}} * T_1 * P_{i_{k_j}} * T_2 * \dots * P_{i_{k_j}} * T_{p-2} * P_{i_{k_j}} * R \in A^*, \quad (6)$$

где $k_j = \{1, 2, \dots, p\}$ – номера активационных продукций из множества (3).

Новизна вводимого p -значного отношения независимой выводимости определяется параллельным срабатыванием p независимых активационных продукций (3) на одном шаге вывода с формированием единственного выходного слова вида (6).

Таким образом, работа исчислительной ПС вида (1) связана с рекурсивным порождением множества слов. Каждый шаг вывода в (1) (каждый рекурсивный вызов) осуществляется путем выбора одного из трех отношений выводимости:

- 1) бинарное отношение непосредственной выводимости;
- 2) p -значное отношения равноправной выводимости (ИЛИ- вывод);
- 3) p -значное отношения независимой выводимости (И- вывод).

Отношение линейного вывода является основой недетерминированной генерации ветвящихся продукционных процессов. В модифицированной исчислительной ПС для ускорения реализации ветвящихся продукционных процессов предлагается уточнить недетерминированность шагов вывода как множественную равноправность срабатывания продукций из активационного набора. Для этого вводится p -значное отношение равноправной выводимости, обеспечивающее реализацию p ветвящихся продукционных процессов по p копиям экземпляра исходного слова. Равноправная обработка нескольких копий приводит к генерации за один шаг вывода множества слов-решений в ветвящемся пространстве времени, что позволяет обоснованно принимать решения по выбору следующих перспективных промежуточных альтернатив или сохранять их для последующего анализа. Кроме того, вводится p -значное отношение независимой выводимости слова-решения на p независимых вхождении, что определяет одновременное срабатывание активационного набора продукций над единственным экземпляром исходного слова и позволяет сократить время для поиска решения за счет увеличенных емкостных затрат.

Обобщая введенные отношения выводимости, работа модифицированной ПС связана с рекурсивным порождением множества слов. Каждый шаг вывода (каждый рекурсивный вызов ПС) осуществляется путем реализации одного из трех отношений вывода:

- 1) отношение линейного вывода;
- 2) p -значное отношение равноправного вывода (ИЛИ- параллельный вывод);
- 3) p -значное отношение независимого вывода (И- параллельный вывод).

Равноправное и независимое срабатывание продукций из активационного набора приводит к формированию параллельных стратегий выводов без ограничений на структурные отношения между фрагментами исходных слов. Основу данных стратегий составляет дополнительная информация о конфликтных ситуациях, выявляемых до начала генерации путем анализа структурных отношений между образцами в \mathcal{L} . Эффективная генерация ветвящихся продукционных процессов в модифицированной ПС основывается на получении количественных оценок ветвлений в графе задачи и определении значения p как максимального из них. Данная максимальная оценка ветвления определяет рациональное число исполнителей в модифицированной ПС и обеспечивает нижнюю границу мощности множества ветвящихся процессов, реализуемых безвозвратным способом.

На базе модифицированной ПС разработаны методы управления сложно структурированными объектами. Основу методов составляет дополнительная информация, получаемая путем анализа образцов продукций на наличие особых структурных отношений между ними, на которых проявляется и может быть реализован параллелизм потока данных [3].

В целом, эффективная генерация ветвящихся продукционных процессов с учетом введенных расширений в ПС (компонента I) связывается с получением дополнительной (управляющей) информации о важнейших свойствах ветвящихся продукционных процессов – коэффициентах ветвления, которые определяются особыми конструктивными объектами – конфликтными словами. Формируемый язык конфликтных слов вместе с номерами конфликтующих продукций для каждого из них определяют общность и дескриптивную представительность принципов изменения состояния сложно структурированных объектов при их описании продукционной парадигмой. Далее рассматриваются два метода управления, основанные на параллельной ярусной генерации состояний-кандидатов в поисковой графе решения задачи.

Методы управления СТО. ИЛИ- метод управления включает следующую последовательность шагов:

- 1) рекурсивный синтез языка конфликтных слов;
- 2) если множество конфликтных слов пусто, то переход на п.9;
- 3) сортировка конфликтных слов по длине и синтез расширенного списка вхождений;
- 4) выбор текущего слова из расширенного списка вхождений и определение статуса активных продукций;
- 5) если расширенный список просмотрен, то переход на п.9;
- 6) не конфликтующая продукция однократно применима к обрабатываемому слову с позиции минимального вхождения образца;
- 7) набор конфликтующих продукций равноправно применим к обрабатываемому слову над необходимым количеством его копий (*при этом битовые маски копий слов принимаются равными 1..1*);
- 8) переход на п.4;
- 9) отсутствие вхождений всех образцов в обрабатываемое слово является признаком прекращения процесса вывода.

Практическая ценность ИЛИ- метода управления определяется тем, что текущие кандидаты-решения являются пространственным срезом альтернативных траекторий и располагаются на одном ярусе в графе поиска, что приводит к сокращению временных затрат на генерацию множества альтернативных решений.

И- метод управления включает следующую последовательность шагов:

- 1) рекурсивный синтез языка конфликтных слов;
- 2) если множество конфликтных слов пусто, то переход на п.9;
- 3) сортировка конфликтных слов по длине и синтез расширенного списка вхождений;
- 4) выбор текущего слова из расширенного списка вхождений и определение статуса активных продукций;
- 5) если расширенный список просмотрен, то переход на п.9;
- 6) не конфликтующие продукции независимо применяются к копиям обрабатываемого слова (*при этом битовые маски копий слов имеют серию 1...1 каждая маска, что соответствует локальной области замены строки-образца*);
- 7) обработанные копии слов объединяются с учетом серии 1...1 в каждой маске в единое результирующее слово;
- 8) конфликтующие продукции последовательно применяются к обрабатываемому слову;
- 9) переход на п.4;
- 10) отсутствие вхождений всех образцов в обрабатываемое слово является признаком прекращения процесса вывода.

Практическая ценность И- метода управления определяется тем, что текущие кандидаты-решения являются пространственным срезом независимых траекторий и располагаются на одном ярусе в графе поиска, что приводит к сокращению временных затрат на генерацию множества независимых решений.

Заключение. Таким образом, в работе описаны модель и методы параллельного вычисления множества решений проблемно-поисковых задачах с динамично изменяемым графом. Научная ценность исследования состоит в том, что модель содержит встроенные средства для естественной параллельной реализации ветвящихся вычислительных процессов на основе полного набора отношений вывода. Практическая ценность исследования определяется созданием значимой для задач управления в реальном масштабе времени технологии безотступных производственных вычислений, что обеспечивает основу для задач распознавания, планирования, генерации множества вариантов состояний СТО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Довгаль В.М. Методы модификации формальных систем обработки символической информации / В.М. Довгаль. – Курск: КурскГТУ, 1996. – 114 с.
2. Довгаль В.М., Титов В.С., Титенко Е.А. Стратегии быстрых символических вычислений для исчислительной системы продукций // Известия Вузов. Приборостроение. – 2008. – № 2. – С. 44-48.
3. Бурцев В.С. Параллелизм вычислительных процессов и развитие архитектуры супер-ЭВМ: Сб. статей / Сост. В.П. Торчигин, Ю.Н. Никольская, Ю.В. Никитин. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2006. – 416 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Н. Лопин.

Титенко Евгений Анатольевич – «Юго-Западный Государственный университет» в г. Курске; e-mail: JOHNTIT@MAIL.RU; г. Курск, проспект Хрущева, 16, кв. 71; тел.: 89051588904; кафедра программного обеспечения вычислительной техники; к.т.н.; доцент.

Атакишев Олег Игоревич – e-mail: AOI007@MAIL.RU; г. Курск, проспект Хрущева, 5, кв. 71; тел.: 84712504800; кафедра программного обеспечения вычислительной техники; проректор Юго-Западного Государственного университета; д.т.н.; профессор.

Скорняков Кирилл Сергеевич – e-mail: Skornkir@yandex.ru; г. Курск, ул. Гагарина, 25а, кв. 27; тел.: +79513119161; кафедра программного обеспечения вычислительной техники; студент.

Заичко Валерий Александрович – 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94; тел.: 84712504800; соискатель.

Риос Аурелио Падаяя – 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94; тел.: 84712504800; соискатель.

Titenko Eugene Anatol'evich – Kursk "South-West State University"; e-mail: JOHNTIT@MAIL.RU; 16 – 71, Khrushchev Avenue, Kursk, Russia; phone: +79051588904; the department of computer science software; master of science; associate professor.

Atakischev Oleg Igorevich – e-mail: AOI007@MAIL.RU; 5 – 71, Khrushchev avenue, Kursk, Russia; phone: +74712504800; the department of computer science software; pro-rector of the South-West State University; dr. of eng. sc.; professor.

Skorniyakov Cyril Sergeevich – e-mail: Skornkir@yandex.ru; 25а – 27, Gagarina street, Kursk, Russia; phone: +79513119161; the department of computer science software; student.

Zaichko Valery Alexandrovich – 94, 50 Years of October street; Kursk, 305040, Russia; phone: +74712504800; applicant.

Rios Aurelio Padayya – 94, 50 Years of October street, Kursk, 305040, Russia; phone: +74712504800; applicant.

УДК 629.7.05

В.В. Косьянчук

**АЛГОРИТМ АППРОКСИМАЦИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА
МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИМИ
ЗАВИСИМОСТЯМИ***

Рассматривается алгоритм аппроксимации решения задачи синтеза многосвязных систем управления, приводимой к линейным уравнениям, аналитическими зависимостями. Вводится понятие приближенного условия разрешимости. Показывается, что в случае удовлетворения приближенного условия разрешимости решение задачи синтеза многосвязных систем управления аппроксимируется аналитическим решением. Это позволяет сохранить все достоинства аналитического решения и при заданной точности аппроксимации.

Аналитическое решение линейных матричных уравнений; условие разрешимости; приближенное условие разрешимости.

V.V. Kosyanchuk

**APPROXIMATION ALGORITHM SOLUTION SYNTHESIS OF CONTROL
SYSTEMS MULTIPLY ANALYTICAL FUNCTION**

The article deals with the approximation algorithm for solving the problem of synthesis of multiply-control systems, reducible to linear equations, analytical dependences. The notion of approximate solvability conditions. It is shown that in the case meet the conditions for the solva-

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 12-08-00767.