

Академия наук Украины
Институт проблем моделирования в энергетике

На правах рукописи

МЕЛКУИЯН Карэн Вальтерович

УДК 519.72

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ СЕТИ ПЕТРИ ПРИ
РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВЫВОДА НА ЗНАНИЯХ В ПРОДУКЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Специальность 05.13.16. – применение вычислительной техники,
математического моделирования и математических
методов в научных исследованиях.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1993

№ 27.399

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00814186 (S)

Работа выполнена в отделе разрядно-аналогового моделирования
Института проблем моделирования в энергетике АН Украины.

научный руководитель.

член-корр. АН Украины
директор института
Евдокимов В.Ф.

официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
Кузьмук В.Б.

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Скорик В.Н.

следующая организация: Киевский институт инженеров гражданской
авиации.

Защита состоится 17 июля 1993г. в 14 часов 00 мин,
на заседании специализированного ученого совета Д 016.01.01 при
Институте проблем моделирования в энергетике АН Украины по адре-
су: 252680 г. Киев - 164, ул. Генерала Наумова 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института.

Автореферат разослан 14 мая 1993г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

Сем - З.П. Семагина

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время все большее распространение получают экспертные системы (ЭС).

Для представления знаний в памяти ЭС на сегодняшний день используются четыре основные модели: семантические сети, фрейм-овые представления знаний, классические логические модели и системы продукций.

Вывод на знаниях зависит от модели, знаний используемой для их представления, тем не менее в большинстве случаев в существующих системах используются методы вывода, опирающиеся на метод резолюций или на идеи обратного вывода Маслова.

Системы с базами знаний представленными совокупностью продукций называются продукционными системами (ПС). Система продукций считается наиболее распространенной моделью представления знаний, а системы, основанные на смешанном представлении знаний в виде систем продукций и фреймов, например, продукционная модель, глобальная база данных которой построена согласно фрейм-овой модели, признаны одними из наиболее перспективных на сегодняшний день.

Однако, с ростом размерности задачи вывода на знаниях возникают трудности, связанные с комбинаторным ростом числа промежуточных результатов вычислений. В продукционных системах это выражается в числе безуспешных попыток, предпринятых для выполнения правил, и проблеме разрешения конфликтов между правилами, готовыми к выполнению.

В существующих ЭС подобные проблемы решаются при помощи использования различных эвристических оценок (основанных на дополнительных знаниях о структуре предметной области), что позволяет упростить поиск соответствия между правилами и фактами, и выработать критерий разрешения конфликтов при выборе правил. При этом теряется универсальность разрабатываемых методов и алгоритмов вывода, в следствие чего каждая ЭС может быть применена только в некоторой довольно узкой прикладной области.

Т.о. возникает необходимость в разработке для каждой прикладной области уникальной ЭС, что связано с затратами как на поиск эффективных эвристик так и на разработку методов, реализующих эти эвристики.

Поэтому создание более универсальных средств и методов об-

работки знаний, свободных от комбинаторного взрыва представляет собой научный и практический интерес.

Цель диссертационной работы. - Разработка метода представления и обработки знаний, свободного от экспоненциального роста сложности вычислений, возникающих при осуществлении вывода на знаниях в продукционных системах для задач практической сложности, и не использующего дополнительную эвристическую информацию о структуре предметной области.

Основные задачи работы:

- проанализировать существующие подходы и методы лежащие в основе процесса вывода на знаниях в ПС;

- проанализировать существующие модели внутреннего представления базы знаний для ПС;

- разработать принципы моделирования базы знаний и процессов вывода на знаниях в ПС при помощи аппарата сетей Петри, позволяющих эффективно использовать фундаментальное уравнение сети Петри (ФУСП);

- разработать на основе аппарата сетей Петри модели внутреннего представления базы знаний в ПС, позволяющие свести реальные задачи вывода на знаниях к решению фундаментального уравнения сети Петри;

- разработать методы построения моделей внутреннего представления базы знаний в ПС на основе обработки базы знаний из системы продукции;

- проанализировать полученные методы с точки зрения эффективности разрабатываемых на их основе элементов ЭС и их универсальности.

Методы исследования. В работе использован аппарат сетей Петри и их модификаций, теории графов, теории множеств, математической логики.

Научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

1. Принципы построения моделей баз знаний и процессов вывода в продукционных системах на основе интерпретированных сетей Петри с приоритетами, позволяющие эффективно использовать фундаментальное уравнение сети Петри при решении задач вывода на знаниях.

2. Модель базы знаний в продукционной системе для случая когда в И/ИЛИ графе процесса вывода отсутствуют циклы.

3. Модель базы знаний в продукционной системе для случая когда в И/ИЛИ графе процесса вывода могут присутствовать циклы.

4. Модель базы знаний в продукционной системе для задач вывода, в которых необходимо доказать соответствие произвольного подмножества из некоторого конечного множества заключений (предположений) исходным фактам.

5. Метод определения циклов в И/ИЛИ графе процесса вывода на основе решения фундаментального уравнения сети Петри.

6. Разработаны принципы для создания алгоритмов построения внутренней модели на основе анализа базы знаний в продукционной системе.

Практическая ценность. Полученные в работе результаты позволяют создавать программное обеспечение для ЭС, процессы вывода в которых будут свободны от комбинаторного взрыва, для различных прикладных областей. При этом единственным условием соответствия разрабатываемой ЭС некоторой прикладной области может являться возможность представления процессов в данной области производственными правилами, и эвристическая информация о структуре прикладной области для повышения эффективности вывода не является необходимой.

Внедрение. Результаты диссертационной работы внедрены в следующих НИР: - "Разработка оптимальной системы эксплуатации средств аэронавигационного обслуживания Украины". По программе ГНТ Украины 6.6.3. "Развитие аэронавигационного обслуживания Украины". НИИ "Сплайн"; - НИР № 009 - ГБ 92 "Методика обоснования требований к средствам радиотехнического обеспечения полетов и УВД и системе их эксплуатации". КИИГА; а также в АСУ ВУЗ КИИГА.

Апробация работы и публикации. Результаты работы докладывались и обсуждались:

- на всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов", Киев, КИИГА, 1989 г.;

- на II международной научно-технической конференции "Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов", Киев, КИИГА, 1992 г.

По теме диссертации опубликовано четыре печатных работы, одна подготовлена к печати.

Структура диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Всего 101 страница машинописного текста, включая 24 иллюстрации.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается выбор темы диссертационной работы, ее актуальность, формулируется цель и задачи исследований, дается краткая характеристика работы.

В первой главе выполняется анализ существующих методов вывода на знаниях в продукционных системах. Показаны проблемы, возникающие при реализации вывода на знаниях в продукционных системах. Формулируются основные идеи, позволяющие преодолеть некоторые из данных проблем.

В продукционной системе знания представлены как совокупность правил, каждое из которых является выражением вида

$$I \rightarrow D, \quad (1)$$

где левая часть I описывает определенную ситуацию, в соответствии с формальными правилами рабочего пространства, а правая часть D представляет собой действие, выполнение которого предполагается в случае обнаружения соответствующей ситуации.

ПС состоит из базы знаний, содержащей множество продукционных правил, рабочего пространства (или базы фактов) и программного интерпретатора.

Унификация является механизмом сопоставления хранящихся в БЗ знаний с полученными фактами, который лежит в основе продукционной системы и позволяет ответить на вопрос, существуют ли такие комбинации подстановок переменных, которые получают две логически идентичные формулы.

Интерпретатор представляет собой основную часть системы и управляет порядком выводов.

Движение к цели при работе системы аналогично доказательству теоремы и может быть представлено с помощью И/ИЛИ графа.

Знания поступают в БЗ в произвольном порядке, и заранее нельзя определить цепочку логических выводов, в которых они используются. Т.о. необходимо каким то способом выбрать некоторую цепочку выводов, и в случае неудачи организовать перебор с возвратом для поиска другой цепочки.

Для нетривиальных предметных областей число альтернатив настолько велико, что возникает опасность комбинаторного роста объема множества путей-кандидатов, что в свою очередь приводит к ситуации, называемой комбинаторным взрывом.

Для решения данной проблемы в существующих ПС используется дополнительная эвристическая информация, отражающая специфику

решаемой задаче, что позволяет на каждой стадии поиска принимать решения о наиболее перспективных путях поиска. В результате процесс поиска (вывода) будет двигаться к целевой вершине, обходя бесполезные пути.

Существуют два подхода к решению проблемы конфликтов при выборе правил и сокращения числа безуспешных попыток, предпринимаемых на установление соответствия между правилами и фактами: 1) установка ряда ограничений на генерацию конфликтного набора, и 2) использование алгоритмов разрешения конфликтов.

Оба эти подхода используют эвристики, и только при реализации алгоритмов управления, основанных на исчерпывающем переборе, ни какие эвристические оценки не используются, но в последнем случае при большом количестве правил существует опасность комбинаторного взрыва.

База знаний составленная в виде продукционных правил представляет собой внешнее представление правил. Большинство из существующих ПС "компилирует" базу правил для получения эффективного внутреннего представления выражающегося в структурировании знаний.

В настоящее время некоторыми авторами используется моделирование с помощью сетей Петри, при котором процесс вывода на знаниях в ПС сводится к решению задачи достижимости в сети Петри.

Одним из наиболее перспективных считается подход к анализу свойств СП, и в частности, решения задач достижимости, основанный на создании практических алгоритмов, сводящих анализ СП к решению системы линейных алгебраических уравнений и неравенств, что позволяет выразить поведенческие свойства СП в лаконичной матричной форме.

Так если функцию инцидентности представить как

$$\text{Pre}: P \rightarrow N \text{ и} \quad (2)$$

$$\text{Post}: T \rightarrow N, \quad (3)$$

где,

Pre - функция инцидентности позиций с переходами;

Post - функция инцидентности переходов с позициями;

N - множество целых неотрицательных чисел,

то Pre и Post можно задать матрицами инцидентности размерами $n \times p$, в которых строки соответствуют позициям, а столбцы - переходам. Пусть для некоторой СП

$$C = \text{Pre} - \text{Post}, \quad (4)$$

где S - матрица инцидентности, маркировка M_n достижима из маркировки M_0 . Тогда если u - последовательность (возможно пустая) запусков переходов, которая приводит из M_0 к M_n то фундаментальным уравнением сети Петри (ФУСП) называется

$$M_n = M_0 + f(u) S, \quad (5)$$

где $f(u)$ - вектор запуска с неотрицательными компонентами.

Однако, подход к анализу СП при помощи ФУСП имеет следующие недостатки:

- элементы, представляющие переходы с входами и выходами из одной позиции (петли), взаимно уничтожаются в матрице S ;
- отсутствует информация о последовательности срабатываний переходов в векторе запуска;
- решение ФУСП является необходимым условием достижимости, но не достаточным.

На сегодняшний день условия достаточности хорошо исследованы лишь для маркированных графов (МГ). Полученные в работе T. Murata. Circuit theoretic analysis and synthesis of marked graphs. IEEE Trans. on circuits and systems, vol. cas-24, no. 7, july 1977 результаты можно представить в виде следующей теоремы.

Теорема 1: (о необходимом и достаточном условии достижимости маркировки M_n от M_0 для маркированных графов).

В МГ маркировка M_n достижима от M_0 тогда и только тогда, если:

- ФУСП имеет решение в неотрицательных целых;
- переходы, которым в векторе запуска $f(u)$ соответствует не нулевые компоненты, не принадлежат свободным от маркеров циклам.

Пусть для некоторой сети Петри, моделирующей процесс вывода z ПС, все решения действительны, или существует некоторая простая (с точки зрения комбинаторики) проверка, позволяющая определить действительные решения из множества решений ФУСП, то полученные действительные решения будут представлять собой множество правил, которые, и только они (для данного варианта решения) приводят к цели. Т.о. процедура решения ФУСП будет аналогична некоторому метаправилу, выбираемому для каждого варианта решения в базе правил и базе фактов только те правила и факты, которые необходимы и достаточны для успешного вывода. Очевидно, что в данном случае нет необходимости в эвристических знаниях для разрешения конфликтов между правилами готовыми к выполнению, т.к. на каждом шаге логического вывода ситуация будет всегда однозначной, а количество безуспешных попыток сопоставления правил

и фактов будут сведены к минимуму из за минимальных размеров полученных базы знаний и базы фактов, рассматриваемых для данного варианта решения.

Поскольку вышеописанная процедура не представляет собой вывод, а лишь способ создать БЗ, содержащую только необходимую информацию, то все существующие методы и алгоритмы, реализующие представление и обработку нечетких знаний остаются в силе.

Данный способ вывода возможно будет уступать в эффективности алгоритмам вывода с удачно выбранными эвристиками, однако очевидно, что он будет эффективнее простого перебора (единственного алгоритма не использующего эвристики).

При изучении возможности использования ФУСП в задаче вывода на знаниях будет подразумеваться, что данная задача сформулирована следующим образом:

1) пространство вывода представлено И/ИЛИ графом, в котором И и ИЛИ связи (возможно КСМБ (комбинированная связь)) могут присутствовать, как между входными, так и между выходными дугами для вершин данного графа;

2) необходимо определить цепочку (граф) логических выводов, приводящих от условия (фактов), соответствующего начальным вершинам в графе, к заключению (гипотезе), соответствующему целевым вершинам в графе;

3) если M - множество начальных вершин, а N - множество конечных вершин то то для любых двух подмножеств $\{m_i\}$ и $\{m_j\}$ множества M , и любых двух подмножеств $\{n_k\}$ и $\{n_l\}$ множества N , таких что $\{m_i\} \cap \{m_j\} = \emptyset$ и $\{n_k\} \cap \{n_l\} = \emptyset$, то вершины $\{m_i\}$ не достижимы от $\{m_j\}$ и вершины $\{n_k\}$ не достижимы от $\{n_l\}$;

4) модификация правил осуществляется только экспертом внешними, по отношению к процессу вывода процедурами.

Пункт 3) в формулировке задачи вывода не является сильным ограничением, однако позволяет значительно упростить процесс логического вывода.

Во второй главе рассматриваются принципы построения модели базы знаний на основе интерпретированной сети Петри с приоритетами, позволяющей эффективно использовать ФУСП при решении задач вывода, устанавливающих соответствие некоторого заключения (предположения) исходным фактам, для случая, когда в И/ИЛИ графе процесса вывода отсутствуют циклы.

Интерпретированная сеть Петри (ИСП) - это пара (N, P^A) , где N - сеть Петри, $A: P \rightarrow A$ - помечающая функция над некоторым алфавитом

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, где a_i соответствует факту, установленному на определенном этапе вывода. Если W - частичная функция, т.е. некоторым позициям не сопоставляется ни какого символа, то эти непомянутые позиции называются l - позициями и помечаются одной и той же буквой l (далее для краткости обозначения позиция p_i , соответствующая факту a_i , будет называться позицией a_i).

В этом случае продукционное правило может быть представлено как показано на рисунке 1(а), где множество $\{a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n}\}$ - представляет собой условную часть правила, $n \geq 1$, а множество $\{a_{j_1}, a_{j_2}, \dots, a_{j_m}\}$ - заключительная часть правила, $m \geq 1$.

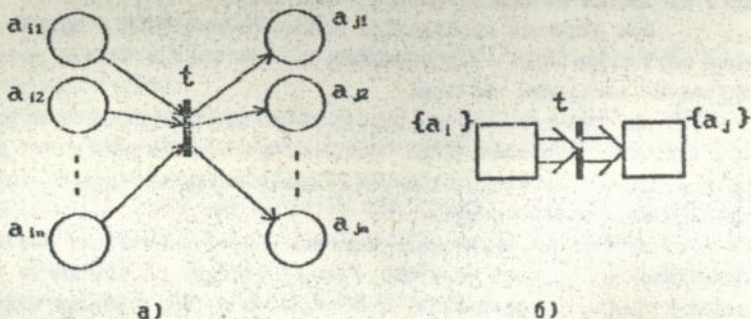


Рис. 1.

Более компактно подобную ситуацию можно отобразить если ввести дополнительные обозначения для позиций и дуг СП, как показано на рисунке 1(б). Так множество позиций, являющихся входными и выходными для данного перехода, может быть представлено квадратом, а множество дуг, связывающих позиции с данным переходом - двойной стрелкой.

Если $n \geq 1$ то условная часть продукционного правила состоит из нескольких условий, соединенных связкой И. Если $m \geq 1$ то заключительная часть состоит из нескольких заключений, соединенных связкой И.

Решение задачи вывода в продукционной системе сводится к процедуре достижимости в СП. Процесс вывода состоит из движения маркеров по сети, однако, унификация изменяет правила срабатывающих переходов следующим образом.

Правило 1.

Если в одной позиции находятся два или более маркеров то происходит "слияние" маркеров и вместо нескольких маркеров остается только один.

Правило 2.

Если маркер помещается в позицию, которая уже содержала маркер, то это эквивалентно тому, что соответствующий данному месту факт был уже получен в процессе логического вывода, и маркер "уничтожается".

Модель ИСП, соблюдающая правила 1 и 2, отличается от обычной СП. Однако для эффективного использования средств, разработанных для анализа СП, необходимо реализовать процесс унификации посредством самой модели, а не внешними относительно СП процедурами. Для этого вводятся дополнительные переходы, а затем для каждого перехода ИСП устанавливается его приоритет. В результате получается ИСП с приоритетами (ИСПП).

Все переходы, участвующие в ИСП образуют множество T_{main} , и каждому элементу из T_{main} присваивается некоторый одинаковый приоритет prt .

На рисунке 2 показан фрагмент СП, который интерпретируется следующим образом. Если существует множество правил, из которых выводится одно и то же заключение, то выполнив операции ИЛИ над всеми заключениями, получаемыми с помощью этих правил, можно показать отношение между результатом отдельного вывода и данными, на основании которых делается вывод. Т.е. при выполнении даже одного из них можно получить данное заключение.

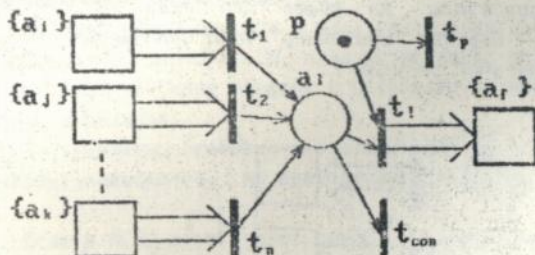


Рис. 2.

Дополнительный переход "контейнер" t_{con} , имеет более низкий приоритет чем prt

$$pr(t_{con}) < prt \quad (6)$$

и принадлежит множеству вспомогательных переходов T_{ad} , для которого:

$$(\forall t_i \in T_{ad} ; pr(t_i) < prt) . \quad (7)$$

Переход t_i и факты $\{a_f\}$, отражают следующие возможные шаги

логического вывода. Позиция p , в которую при начальной маркировке M_0 всегда помещается один маркер, помечается буквой l и не позволяет переходу t_l сработать более одного раза.

Если в позиции a_l помещается более чем один маркер, что возможно при срабатывании нескольких входных переходов для a_l , то только один маркер может быть использован для срабатывания перехода t_l , а остальные маркеры позиции a_l "заставят" сработать переход t_{con} . Если в позицию a_l помещается маркер, а t_l уже сработал то это означает, что в a_l уже находился маркер и "новый" маркер будет использован лишь переходом t_{con} . Если в a_l находится маркер, а t_l еще не сработал то в данной ситуации сработает t_l , а не t_{con} , т.к. t_l обладает более высоким приоритетом.

Если существует множество правил, использующих одну и ту же условную часть, то выполнив операцию исключаящего ИЛИ над всеми условиями, составляющими условную часть этих правил, можно показать отношение между результатом каждого вывода и данными, на основе которых делается вывод. Это может быть представлено сетью Петри, как показано на рисунке 3. Здесь предусматривается дополнительная позиция p , в которую при начальной маркировке M_0 всегда помещается один маркер. Данной позиции не соответствует никакой символ из A и она помечается буквой l , однако, p необходима для обеспечения операции исключаящего ИЛИ. В этом случае может сработать не более чем один из переходов $t_1, t_2, \dots, t_n, n > 1$. Переход "контейнер" t_{con} принадлежит T_{ad} и функционирует аналогично рисунку 2.

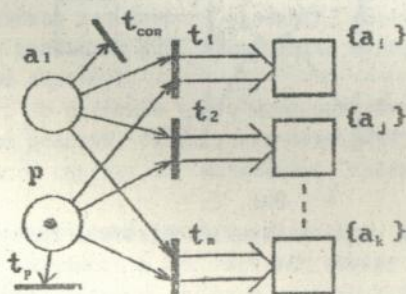


Рис. 3.

Для устранения неопределенности в задании конечной маркировки M_n вводятся дополнительные переходы t_p . На срабатывание переходов t_p накладываются следующие условия: переход t_p срабо-

тает только в том случае если за время выполнения ИСПП в позиции a не будет помещен ни один маркер. Т.о. в результате выполнения ИСПП ни в одной из 1-позиций не будет ни одного маркера, и конечная маркировка M_n будет представлять собой вектор с ненулевыми компонентами, соответствующими только "целевым" фактам продукционной системы.

Начальная маркировка M_0 будет представлять собой вектор, в котором $M_0(a_j) = 1$ для позиций, соответствующих фактам продукционной системы, представляющих собой формулировку задачи, а также 1-позиций, и $M_0(a_j) = 0$ для остальных позиций.

Для предложенной ИСПП сформулированы и доказаны следующие утверждения.

Элементы ИСПП, в которых позиции имеют более чем одну входную или выходную дугу, в каждом варианте решения эквивалентны элементам ординарной СП (ОСП) с количеством входных и выходных дуг для каждой из позиций не превышающим единицу.

Для ОСП, в которой для каждой из позиций количество входных дуг не превышает единицу и количество выходных дуг не превышает единицу, справедлива теорема 1.

Утверждение о необходимом и достаточном условии достижимости в ИСПП.

В ИСПП маркировка M_n достижима от начальной маркировки M_0 тогда и только тогда, если:

1. ФУСП имеет решение в неотрицательных целых;
2. учтены приоритеты каждого перехода путем исключения из решения ФУСП векторов запуска с запрещенными комбинациями срабатываний переходов;
3. переходы, которым в векторе запуска $f(u)$ соответствует ненулевые компоненты, не принадлежат свободным от маркеров циклам.

Если в ИСПП отсутствуют циклы то необходимым и достаточным условием достижимости маркировки M_n от M_0 будет выполнение пунктов 1 и 2.

ФУСП описывает функционирование ИСПП без учета приоритета каждого перехода. В решение данного матричного уравнения могут входить векторы запуска, которые в ИСПП не допустимы. Приоритеты каждого перехода можно учесть путем исключения из решения ФУСП векторов запуска $f(u)$ с запрещенными комбинациями срабатываний переходов. Векторами запуска с запрещенными комбинациями срабатываний переходов будут те, в которых обе компоненты, соот-

ветствующие t_{con} и t_p хотя бы для одного элемента ИСПП, равны единице.

В ИСПП каждый переход, за исключением переходов t_{con} , работает не больше одного раза, а каждый переход t_{con} работает не больше фиксированного, причем, заранее известного для каждого t_{con} , числа раз.

В том случае если решение ФУСП неоднозначно и представляет собой множество (возможно не ограниченное) векторов запуска то к дальнейшему рассмотрению будут приниматься только те векторы $f(u)$, компоненты которых соответствуют данному утверждению.

Приведены принципы построения матрицы инцидентности ИСПП на основе анализа "упрощенной" матрицы инцидентности.

В третьей главе исследуется возможность обработки циклов в И/ИЛИ графе процесса вывода. Представлен метод, позволяющий решать задачи вывода, доказывающие соответствие произвольного множества из некоторого конечного множества заключений (предположений) исходным фактам.

В данной главе сформулированы и доказаны следующие утверждения.

Пусть для ИСПП переходы $t_{i_1}, t_{i_2}, \dots, t_{i_n}$, где $n \geq 1$ образуют один из циклов, $a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n}$ - позиции данного цикла (a_{i_l}) такие что $a_{i_l} F t_{i_l}, t_{i_l} F a_{i_{l+1}}$, если $l < n$, и $t_{i_l} F a_{i_1}$ если $l = n$ (F - отношение инцидентности, а запись xRy обозначает, что x и y находятся в отношении R), и каждая из позиций (a_{i_l}) имеет k -входных переходов, где $k \geq 1$, тогда если для каждого цикла данной ИСПП ввести дополнительную l -позицию q и переход tq , где $tq \in \text{Ad}$ и $q F tq$, согласно следующих правил:

1) если существуют позиции из $\{a_{i_l}\}$, для которых $k > 1$ и a_{i_b} одна из таких позиций то установить, что выходным переходом для q (кроме tq) будет t_{i_b} такой, что $a_{i_b} F t_{i_b}$ и t_{i_b} один из переходов цикла, а входными переходами для q , будут все входные переходы для позиций (a_{i_l}) за исключением переходов, удовлетворяющих $t_{i_b} F a_{i_{b+1}}$ если $l < n$ и $t_{i_b} F a_{i_1}$ если $b = n$, где t_{i_b} один из переходов цикла, а $a_{i_{b+1}} \in \{a_{i_l}\}$;

2) если каждая из позиций цикла имеет только один входной переход то установить, что выходными для q будет любой из переходов цикла, и tq , а входные переходы для q отсутствуют;

3) если для начальной маркировки M_0 цикл не свободен от маркеров то установить $M_0(q) = 1$, и $M_0(q) = 0$ в противном случае; тогда выполнение пунктов 1 и 2 утверждения о необходимом и дос-

таточном условии достижимости в ИСПП будет необходимыми и достаточным условием достижимости некоторой маркировки M_0 от M_0 .

ИСПП с дополнительными 1-позициями, введенными согласно вышеприведенного утверждения будем называть ИСПП с блокирующими позициями (ИСППБ).

Предложен метод и разработаны принципы построения алгоритмов для выявления циклов в произвольной ИСПП путем решения ФУСП.

Пусть M_0 и M_1 соответствует ситуация, при которой только в 1-позициях находится по одному маркеру, а в остальных маркеры отсутствуют, тогда если в ИСПП все переходы из T_{main} имеют не более чем одну входную и не более чем одну выходную позицию и при $M_0 = M_0$ и $M_1 = M_1$ среди решений ФУСП для данной ИСПП есть векторы запуска $f(u)$ с ненулевыми значениями соответствующими некоторым переходам из T_{main} то эти переходы участвуют в циклах.

Пусть переход t имеет n входных $\{a_i\}$ и m выходных $\{a_j\}$ позиций, где $n > 1$ и $m > 1$ (рис. 1(a)). Данный переход может входить в циклы, включающие вершины a_{i_1} и a_{j_1} , a_{i_2} и a_{j_2} , ..., a_{i_n} и a_{j_m} . Всего таких циклов может быть $n \cdot m$.

Элемент ИСПП (рис. 1(a)) можно заменить элементом ИСПП где каждой паре a_{i_k} и a_{j_l} поставлен в соответствие отдельный переход t из T_{main} такой, что $a_{i_k} F t$ и $t F a_{j_l}$.

Очевидно, что функционирование полученной ИСПП будет не адекватно функционированию исходной ИСПП. Однако, т.к. изменена лишь форма связи, между вершинами $\{a_i\}$ и $\{a_j\}$, а сами связи сохранены то сохранены и все циклы, включающие эти вершины.

Т.о. в результате описанного преобразования получается ИСПП с циклами, в которых каждый переход имеет только по одной входной и выходной позиции, тогда, в данной ситуации, ФУСП может быть использовано для нахождения всех переходов из T_{main} (для преобразованной ИСПП) образующих циклы, а следовательно, и всех позиций, участвующих в циклах исходной ИСПП.

При эксплуатации производственной системы может возникнуть ситуация, когда необходимо определить: принадлежат ли факты, являющиеся результатом вывода производственной системы некоторому "целевому" множеству событий.

Задачу нахождения множества $\{M_i\}$ маркировок, достижимых от некоторой начальной маркировки M_0 , и являющегося подмножеством заданного множества конечных маркировок $\{M_{ij}\}$, соответствующего множеству P_{aim} , можно представить следующим образом.

Пусть ИСППБ моделирует процесс вывода в некоторой продукционной системе и множество позиций $\{a_j\}$ соответствует "целевому" множеству событий $Pa_{i\pi}$. Для каждой позиции a_k из $\{a_j\}$ вводится дополнительный выходной переход $ta_{i\pi}$ из множества переходов $Ta_{i\pi}$ причем для $Ta_{i\pi}$ выполняется следующее условие:

$$(\forall t_j \in T : p(t_j) = prt). \quad (8)$$

Очевидно, что некоторая целевая позиция a_j достижима для данной ИСПП при начальной маркировке M_0 тогда и только тогда если за время функционирования ИСППБ сработал соответствующий ей переход $ta_{i\pi}$. Т.о. будет справедливо следующее утверждение.

В ИСПП, для которой, каждой целевой позиции a_j соответствует выходной переход из множества $Ta_{i\pi}$, некоторая целевая позиция a_j достижима при начальной маркировке M_0 тогда и только тогда если среди решений ФУСП для данной ИСПП в виде

$$M_{null} = M_0 + f(u) \text{ Cp}, \quad (9)$$

удовлетворяющих вышеприведенным утверждениям будут векторы $f(u)$ с ненулевой компонентой, соответствующей выходному для a_j переходу принадлежащему $Ta_{i\pi}$. M_{null} - конечная маркировка, при которой во всех позициях ИСПП отсутствует маркер.

В четвертой главе сформулированы принципы создания алгоритмов построения внутренней ИСПП-модели в ПС, и в частности "упрощенной" матрицы инцидентности, на основе анализа базы знаний. Приведены оценки и экспериментальные данные, подтверждающие теоретические оценки эффективности разработанных методов и алгоритмов. Описано возможное применение полученных в работе результатов для создания продукционной системы, предназначенной для прогнозирования успеваемости студентов в ВУЗе.

Для постановки задачи достижимости в ИСПП-модели необходимо задать начальную M_0 и конечную M_n маркировки. M_0 и M_n соответствуют условию и заключению задачи вывода на знаниях в ПС и определяются (на основе полученных в предыдущих главах результатов) следующим образом.

1) Если в И/ИЛИ графе процесса вывода отсутствуют циклы то в данном случае ИСПП-модель представляет собой ИСПП. Тогда для задачи, устанавливающей соответствие некоторого заключения исходным фактам, в векторе M_0 $M_0(p_j) = 1$ в тех случаях, когда p_j - 1-позиция, p_j - соответствует исходному факту, входящему в условие задачи; и для остальных позиций $M_0(p_j) = 0$. В векторе M_n $M_n(p_j) = 1$ в тех случаях, когда позиция p_j соответствует факту, входящему в заключение задачи, и для остальных позиций -

$\text{Mo}(p_i) = 0$.

2) Если в И/ИЛИ графе процесса вывода могут присутствовать циклы то ИСПП-модель представляет собой ИСППБ. В этом случае для задачи, устанавливающей соответствие некоторого заключения исходным фактам, в векторе Mo $\text{Mo}(p_i) = 1$ для всех 1-позиций, не являющихся блокирующими, для всех блокирующих позиций, соответствующих циклам ($p_{i_1}, p_{i_2}, \dots, p_{i_r}$), в которых при данной постановке задачи вывода хотя бы одной из позиций цикла соответствует исходный факт, входящий в условие задачи, для всех позиций, соответствующих исходным фактам, входящих в условие задачи; и для остальных позиций $\text{Mo}(p_i) = 0$. В векторе Mn $\text{Mn}(p_i) = 1$ в тех случаях, когда позиция p соответствует факту, входящему в заключение задачи, и для остальных позиций - $\text{Mo}(p_i) = 0$.

3) Если задача вывода доказывает соответствие произвольного подмножества из некоторого конечного множества заключений (предположений) исходным фактам, то Mo определяется согласно пунктов 1) или 2), в зависимости от того, представляет ли собой ИСПП-модель ИСПП или ИСППБ, а в векторе Mn , всем позициям соответствует нуль, $\text{Mn}(p_i) = 0$.

На рисунке 4 представлена упрощенная структура ПС, использующей внутреннее представление БЗ в виде ИСПП-модели, в И/ИЛИ графе процесса вывода которой могут присутствовать циклы. Функционирование данной системы происходит следующим образом.

1. Эксперт - единственный кто вносит изменения в базу знаний в виде добавления новых, удаления или корректировки правил.
2. Интерфейс с экспертом предназначен для максимального упрощения операции модификации БЗ.
3. После того как процесс внесения изменений в БЗ завершен происходит обработка базы знаний машиной логического вывода, в результате чего строится упрощенная матрица инцидентности (УМИ), соответствующей базе знаний.
4. Осуществляется анализ на циклы, в результате которого формируется ИСППБ и создается множество списков вершин, где каждый соответствует отдельному циклу в ИСПП-модели, а вершины, входящие в список являются вершинами данного цикла.
5. Задача вывода формулируется пользователем в виде множества исходных фактов, соответствующих условию, и множества (или подмножества данного множества) фактов, соответствующих заключению (предположению).

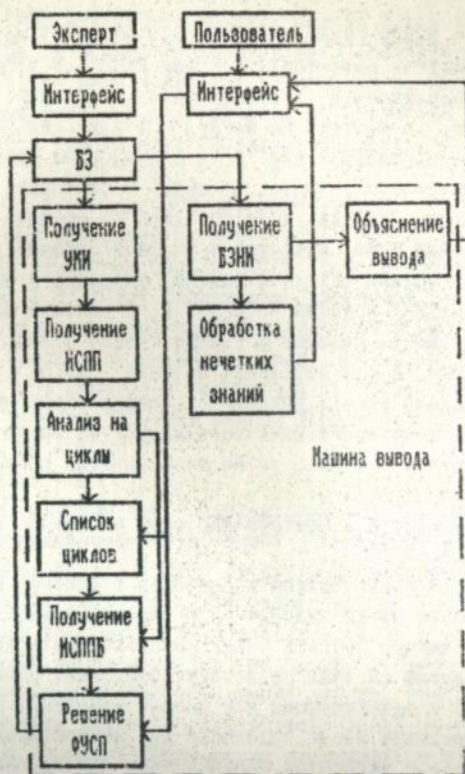


Рис. 4.

6. Интерфейс с пользователем на основе полученной информации формулирует задачу достижимости для ИСПП-модели в виде определения начальной M_0 и конечной M_n маркировок.

7. Отскидываются решения ФУСП для полученных ранее матрицы инцидентности ИСППБ и маркировок M_0 и M_n .

8. На основе решения ФУСП из базу знаний выбираются лишь необходимые (для каждого варианта решения) правила и факты и формируется БЗ с необходимой информацией (БЗНИ).

9. Осуществляется обработка нечетких знаний.

10. По необходимости (команде пользователя) происходит объяснение полученных выводов.

Пусть БЗ состоит из m правил и n различных фактов, входящих как в условные так и в заключительные части правил, и для данной

БЗ выполняется следующее:

- i - количество правил, каждое из которых имеет одинаковую условную часть с хотя бы с одним из правил БЗ, а заключительная часть ни где не встречается, кроме как в данном правиле;

- $г$ - количество правил, каждое из которых имеет одинаковую заключительную часть с хотя бы с одним из правил БЗ, а условная часть ни где не встречается, кроме как в данном правиле;

- $с$ - количество правил, каждое из которых имеет одинаковую условную часть с хотя бы одним из правил БЗ и одинаковую заключительную часть с хотя бы одним из правил БЗ.

Построение УМИ представляет собой следующие процедуры:

- создание списка фактов, входящих в БЗ;

- создание УМИ путем пошагового просмотра БЗ (каждый шаг соответствует правилу в БЗ). Полученная УМИ будет иметь размерность $n \times n$.

Построение ИСПП на основе УМИ представляет собой пошаговый просмотр УМИ (каждый шаг соответствует столбцу матрицы). Полученная ИСПП будет иметь размерность

$$(n + i + г + с) \times (n + 2i + 2г + 2с), \quad (10)$$

Построение ИСППБ основано на выполнении следующих процедур:

- анализ УМИ на циклы;

- построение ИСППБ путем введения дополнительных позиций, соответствующих циклам.

Первая процедура представляет собой решение системы линейных алгебраических уравнений с размерностью матрицы коэффициентов

$$(n + i' + г' + с') \times (n + 2i' + 2г' + 2с'), \quad (11)$$

где i' , $г'$, $с'$ - обозначают то же, что и i , $г$, $с$ но для преобразованной матрицы инцидентности.

Вторая процедура выполняется в результате введения дополнительных вершин (по одной для каждого из выявленных циклов). Полученная матрица инцидентности ИСППБ будет иметь размерность

$$(n + i + г + с + p) \times (n + 2i + 2г + 2с + p), \quad (12)$$

где p - количество циклов в УМИ.

Сложность процедуры решения ФУСП определяется размерностью матрицы инцидентности ИСПП или ИСППБ.

Вывод из знаниях в ПС, использующей ИСПП-модель состоит из последовательного выполнения процедур, каждая из которых свободна от экспоненциального роста сложности вычислений при увеличении размерности задачи, следовательно, данный вывод свободен от

комбинаторного взрыва.

Полученные методы и алгоритмы достаточно просты и легко распараллеливаются.

Существующие ЭС обычно работают в двух режимах: формирование и модификация БЗ; поиск ответов на вопросы.

Второй режим более критичен к времени обработки информации в ЭС. Исходя из этого и на основании проведенного выше анализа функционирования ПС, использующих ИСПП-модель можно представить в виде двух независимых режимов работы:

- формирование и модификация БЗ, в который будут входить все преобразования, связанные с получением ИСПП или ИСППБ;

- поиск ответов на вопросы, в который будут входить непосредственно решение ФЭСП и обработка модифицированной БЗ с необходимой информацией.

В результате такой организации работы ПС можно значительно сократить время, затрачиваемое системой на поиск решения задачи вывода.

В данной главе приведены и проанализированы данные экспериментальных исследований влияния структуры и размерности БЗ на время логического вывода в ПС, использующих ИСПП-модель, для четырех типов структур баз знаний, граф И/ИЛИ вывода для которых представляет собой:

модель А: каждой вершине, начиная с некоторой, неимеющей входных вершин, соответствует две уникальные выходные вершины со связью ИЛИ между дугами;

модель В: каждой вершине, начиная с некоторой, неимеющей входных вершин, соответствует две уникальные выходные вершины со связью И между дугами;

модель С: каждой вершине, начиная с некоторой, неимеющей выходных вершин, соответствуют две уникальные входные вершины со связью ИЛИ между дугами;

модель D: каждой вершине, начиная с некоторой, неимеющей выходных вершин, соответствует две уникальные входные вершины со связью И между дугами.

На основании полученных данных формулируются следующие выводы:

- результаты экспериментов подтверждают теоретические оценки эффективности разработанных методов и алгоритмов;

- в ПС, использующей ИСПП-модель, наиболее эффективно обрабатываются БЗ, для которых в И/ИЛИ графе процесса вывода преоб-

ладают И-вершины;

- в ПС, использующей ИСПП-модель, наименее эффективно обрабатываются БЗ, для которых в И/ИЛИ графе процесса вывода преобладают вершины, входные дуги которых связаны связкой ИЛИ.

Описана ЭС прогнозирования успеваемости студентов в ВУЗе (ЭС ПУС) предназначена для оказания помощи сотрудникам ВУЗа в прогнозировании возможных результатов учебн студента или абитуриента на конкретных этапах обучения (курс, семестр) на основе знаний, полученных от экспертов (высококвалифицированных преподавателей), которая может быть построена с использованием методов и принципов, полученных в данной работе.

В заключении приводятся основные результаты работ.

В приложении содержатся материалы по внедрению результатов диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны принципы построения моделей баз знаний и процессов вывода в ПС на основе интерпретированных сетей Петри с приоритетами (ИСПП), позволяющими эффективно использовать фундаментальное уравнение сети Петри при решении задач вывода на знаниях.

2. Представлена ИСПП-модель базы знаний в ПС, позволяющая эффективно использовать ФУСП при решении задач вывода, в которых необходимо доказать соответствие некоторого заключения (предположения) исходным фактам, для случая когда в И/ИЛИ графе процесса вывода отсутствуют циклы.

3. Представлена ИСПП-модель базы знаний в ПС, позволяющая эффективно использовать ФУСП при решении задач вывода, в которых необходимо доказать соответствие некоторого заключения (предположения) исходным фактам, для случая когда в И/ИЛИ графе процесса вывода могут присутствовать циклы.

4. Представлена ИСПП-модель базы знаний в ПС, позволяющая эффективно использовать ФУСП при решении задач вывода, в которых необходимо доказать соответствие произвольного подмножества из некоторого конечного множества заключений (предположений) исходным фактам.

5. Разработан метод определения циклов в И/ИЛИ графе процесса вывода на знаниях в ПС на основе решения ФУСП.

6. Разработаны принципы для создания алгоритмов построения

внутренней ИСПП-модели в ПС на основе анализа базы знаний в ПС.

Публикации по теме диссертационной работы.

1. Беляевский Л.С., Буров В.А., Курочкин П.И., Ткаченко В.П., Мелкумян К.В. Оптимизация размещения многопозиционной фазовой радионавигационной системы. В кн.: Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов. - Тез. док. всесоюз. науч.-тех. конф., Киев: КНИГА, 1989.

2. Давидяк В.С., Мелкумян К.В. Построение локальных вычислительных структур для информационного обеспечения эксплуатации РТО полетов Украины. В кн.: Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов. - Тез. док. II межд. науч.-тех. конф., Киев: КНИГА, 1992.

3. Мелкумян К.В., Отблеск Д.Б. Моделирование параллельного алгоритма решения системы линейных алгебраических уравнений иерархическими сетями Петри. В кн.: Методы математического моделирования в энергетике. - Киев: Наук. думка, 1992.- 136 с.

4. Мелкумян К.В. Методы распараллеливания вычислительных процедур при решении задач диагностики авиационной техники. В кн.: Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов. - Тез. док. II межд. науч.-тех. конф., Киев: КНИГА, 1992.

В. Мелкумян

Подписано к печати 10.05.93г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ. лист. 1,0 Уч.-изд. лист 1,0
Тираж 100 Заказ 543

Полиграф. уч.-к Института электродинамики АН Украины,
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

Ab. 1. 18

1/16/10

AB 27.399