

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 09.11.2025 07:25:45
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c1ea7d3e44

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 30 » 10 (ЮЗГУ) 2025 г.



**Моделирование параллельных продукционных стратегий выво-
дов:(модель «перевернутого образования»)
методические указания к лабораторным занятиям для магистров
направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»**

Курск 2025

УДК 004.832.3

Составитель: Е.А. Титенко

Рецензент

Кандидат технических наук *Е.Н. Ефремова*

Моделирование параллельных продукционных стратегий выводов: (модель «перевернутого образования»): методические указания к лабораторным занятиям для магистров направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Е.А. Титенко. Курск, 2025. 19 с. Библиогр.: с. 19.

Описывается состав и работа машины вывода, разработка алгоритма проверки и формирования списка конфликтных слов; программная реализация стратегий параллельных продукционных выводов; приобретение практических навыков параллельного программирования стратегий выводов с использованием потоков. Изложены краткие теоретические сведения из методов систем искусственного интеллекта в части алгоритма проверки и формирования списка конфликтных слов, реализация стратегий параллельных продукционных выводов, а также задачи для программирования.

Методические рекомендации предназначены для магистров направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника».

Текст печатается в авторской редакции.

Подписано в печать *30.10.25*. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 1,10 п.л. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 120 экз. Заказ *1246* Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Цель лабораторной работы:

Изучение цикла работы машины вывода, разработка алгоритма проверки и формирования списка конфликтных слов; программная реализация стратегий параллельных продукционных выводов; приобретение практических навыков параллельного программирования стратегий выводов с использованием потоков.

Задание

1. В соответствии с вариантом задания составьте блок-схему решения задачи с применением стратегии вывода.
2. Составьте псевдокод программы и схему взаимодействия потоков.
3. На основе разработанных псевдокод программы и схемы проведите проверку работоспособности программы.

1. Содержание отчета

- титульный лист;
- задание;
- **способ формирования конфликтных слов;**
- граф-схема решения задачи и схема взаимодействия потоков;
- **описание моделируемой параллельной стратегии;**
- текст программы;
- результаты работы программы

2. Основные понятия

Как известно из теории алгоритмов, существует два типа генераторов вариантов решений: алгоритмы и исчисления. Проблемная ситуация в выборе адекватного генератора для задач поддержки принятия решений в ЭС заключается в том, что алгоритмическая реализация процессов генерации приводит к непродуктивным затратам времени, вследствие последовательного (полного или неполного) перебора путей в дереве возможных решений с возвратами в вершины альтернативных направлений.

Цель лабораторной работы – моделирование параллельных стратегий вывода И-ИЛИ-деревьев на основе продукционных исчислительных систем.

2.1. Цикл работы машины вывода

ЭС с точки зрения теоретического проектирования описывается множеством вида :

$$\{R, B, I\},$$

где R – область данных в рабочем алфавите \mathcal{R} ;

B – база знаний (БЗ) в виде исчислительной системы продукций;

I – интерпретатор продукций (машина вывода).

Машина вывода – это модель технического устройства или алгоритм, конкретизирующая состав и взаимодействие модулей обработки области данных системой продукций. Теоретически I описывается множеством вида:

$$I = \{R, C, V, S, K, W\},$$

где R – модуль проверки корректности распараллеливания;

C – модуль синтеза конфликтных слов;

V – модуль выборки из R и B множества активных данных и множества активных продукций;

S – модуль сопоставления, определяющий множество вхождений образцов продукций и конфликтных слов во входные символьные строки;

K – модуль разрешение конфликтов при сопоставлении;

W – модуль выполнение выбранных продукций.

Цикл работы машины вывода (рис.1) состоит в последовательном выполнении четырех модулей: модуля выборки, модуля сопоставления, модуля разрешения конфликтов и модуля выполнения. Разнообразие конкретных реализаций модулей выборки, сопоставления, разрешения конфликтов и выполнения определяет общую стратегию вывода решений в ЭС. При этом модуль разрешения конфликтов является определяющим в скорости генерации текущего яруса дерева вывода.

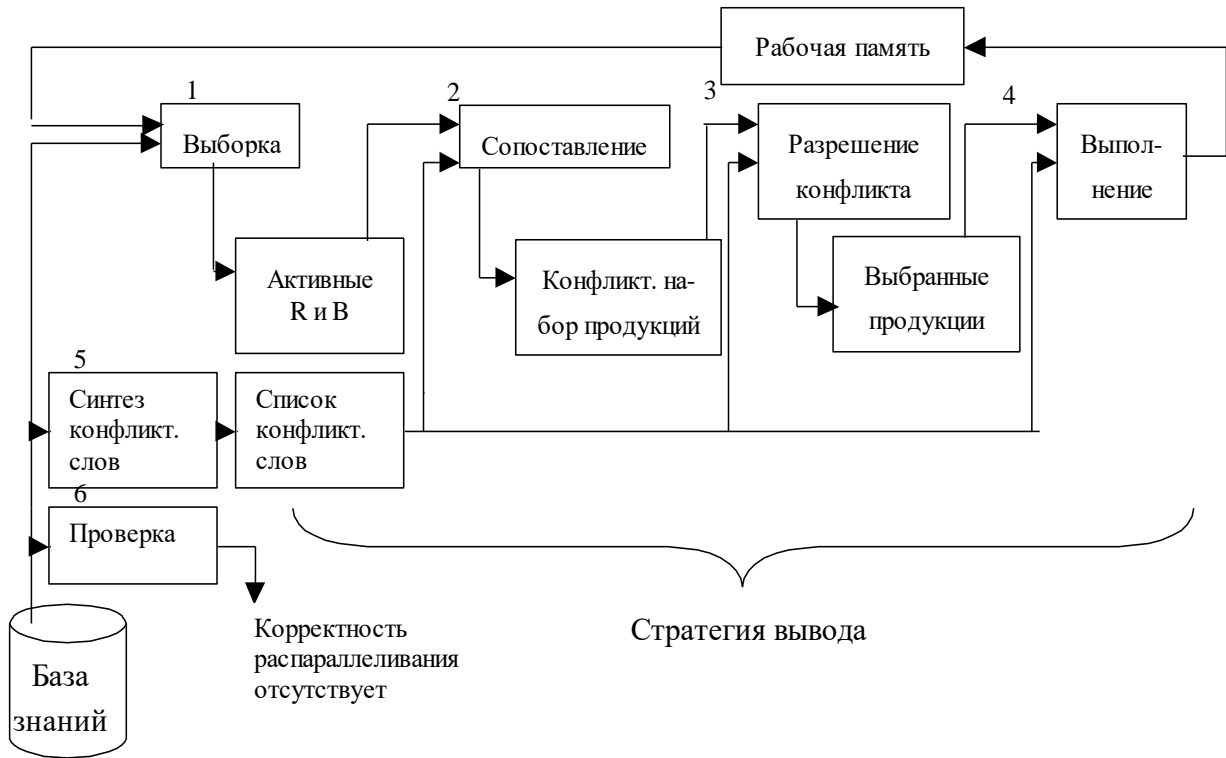


Рис.1 Цикл работы машины вывода

2.2. Модуль формирования списка конфликтных слов

Результатом работы модуля синтеза конфликтных слов является список L конфликтных слов, упорядоченный по убыванию их длин. Каждый элемент списка имеет следующую структуру:

K_i	N_p
-------	-------

где K_i – конфликтное слово;

N_p – множество номеров конфликтующих продукций.

Список L служит основой для составления расширенного списка L' вхождений. Расширенный список L' состоит из упорядоченных по убыванию конфликтных слов, взятых без повторов, и образцов продукций, причем при равенстве длин i -ого конфликтного слова и j -ого образца порядок следования элементов в L' $\{.. K_i, O_j, ..\}$.

Структура элемента-образца L'

O_j	j
-------	-----

где j – номер продукции.

Под конфликтным словом условимся понимать слово, получаемое как объединение i -ого и j -ого образцов с общей частью ($i \neq j$). Ниже приведен полный перечень вариантов пересечений образцов и вариантов синтеза конфликтных слов на их основе

$$\begin{array}{cccc} \begin{array}{c} a \ b \ | \ s \ d \\ s \ | \ a \ b \\ \hline absd \cup^k sab = \\ \hline sabsd \end{array} & \begin{array}{c} a \ b \ | \ s \ d \\ \ | \ s \ d \ | \\ \hline absd \cup^k sdl = \\ \hline absdl \end{array} & \begin{array}{c} a \ b \ | \ s \ | \ d \\ \ | \ b \ s \\ \hline absd \cup^k bs = \\ \hline absd \end{array} & \begin{array}{c} \ | \ b \ s \\ a \ b \ | \ s \ | \ d \\ \ | \ b \ s \\ \hline bs \cup^k absd = \\ \hline absd \end{array}, \end{array}$$

где \cup^k – операция объединения

Таким образом, в основе первого конструктивного процесса синтеза конфликтных слов используется логическое условие пересечения двух слов в виде конструктивной дизъюнкции /5/

$$(O_i^H = O_j^K) \vee (O_i^K = O_j^H) \vee (O_i \subset O_j) \vee (O_j \subset O_i) = 1 \quad (1).$$

Вместе с тем для выявления всех ситуаций конфликтов образцов необходимо применять данный конструктивный процесс объединения слов к уже полученным конфликтным словам, что найдет свое отражение в модификации конструктивной дизъюнкции (2):

$$(K_i^H = K_j^K) \vee (K_i^K = K_j^H) \vee (K_i \subset K_j) \vee (K_j \subset K_i) = 1 \quad (1^a).$$

Истинное значение (2) предписывает синтезировать новое конфликтное слово и добавить его в список конфликтных слов к уже существующим.

Таким образом, процесс синтеза конфликтных слов носит рекурсивный характер, поэтому необходимо дополнительно проверять условие заикливания.

Теорема о заикливании. Пусть задано продукционное исчисление и пусть для него существуют пара продукций (i, j) , для которых истинна конструктивная конъюнкция

$$(O_i^H = O_j^K) \& (O_i^K = O_j^H) = 1 \quad (2)$$

или пара конфликтных слов, для которых истинна конструктивная конъюнкция

$$(K_i^H = K_j^K) \& (K_i^K = K_j^H) = 1. \quad (2^a).$$

Тогда синтез конфликтных слов не завершается за конечное число шагов, т.е. список L является бесконечным.

Пусть задано продукционное исчисление B , в котором все продукции являются активными:

$$B = \begin{cases} 1. abs \rightarrow mpk \\ 2. bsd \rightarrow pka \\ 3. ab \rightarrow dlb \\ 4. def \rightarrow bs \\ 5. ad \rightarrow lmp \end{cases}$$

Определим список конфликтных слов и на его основе синтезируем расширенный список вхождений L'

$$K = \begin{cases} \{ab,abs\} = ab \\ \{abs,bsd\} = bs \\ \{def,ad\} = d \\ \{bsd,ab\} = b \\ \{bsd,def\} = d \end{cases} \quad K = \begin{cases} K_1^1 = abs \quad (1,3) \\ K_2^1 = absd \quad (1,2) \\ K_3^1 = adef \quad (4,5) \\ K_4^1 = absd \quad (2,3) \\ K_5^1 = bsdef \quad (2,4) \end{cases} \quad K = \begin{cases} K_1^1 = abs \quad (1,3) \\ K_2^1 = absd \quad (1,2,3) \\ K_3^1 = adef \quad (4,5) \\ K_4^1 = bsdef \quad (2,4) \end{cases}$$

Анализ конфликтных слов 1-ого уровня в соответствии с (1^a) выявляет ситуации их попарного пересечения, что обуславливает добавление конфликтных слов второго уровня.

$$K = \begin{cases} \{abs,absd\} = abs \\ \{abs,bsdef\} = bs \\ \{absd,bsdef\} = bsd \end{cases} \quad K = \begin{cases} K_1^1 = abs \quad (1,3) \\ K_2^1 = absd \quad (1,2,3) \\ K_3^1 = adef \quad (4,5) \\ K_4^1 = bsdef \quad (2,4) \\ K_1^2 = absd \quad (1,2,3) \\ K_2^2 = absdef \quad (1,2,3,4) \\ K_3^2 = absdef \quad (1,2,3,4) \end{cases} \quad K = \begin{cases} K_1^1 = abs \quad (1,3) \\ K_2^1 = absd \quad (1,2,3) \\ K_3^1 = adef \quad (4,5) \\ K_4^1 = bsdef \quad (2,4) \\ K_1^2 = absdef \quad (1,2,3,4) \end{cases}$$

Расширенный список L' будет иметь следующий вид, при этом конфликтное слово $abs(1,3)$ в нем предшествует равному по длине слову $bsd(2)$

$$L' = \left\{ \begin{array}{l} \boxed{\text{absdef}} \quad \boxed{1,2,3,4} \\ \boxed{\text{bsdef}} \quad \boxed{2,4} \quad , \quad \boxed{\text{absd}} \quad \boxed{1,2,3} \quad , \quad \boxed{\text{adef}} \quad \boxed{4,5} \quad , \quad \boxed{\text{abs}} \quad \boxed{1,3} \\ \boxed{\text{bsd}} \quad \boxed{2} \quad \quad \boxed{\text{ab}} \quad \boxed{3} \quad \quad \boxed{\text{def}} \quad \boxed{4} \quad \quad \boxed{\text{ad}} \quad \boxed{5} \end{array} \right\}$$

2.3. Стратегии параллельных выводов

В лабораторной работе рассматриваются следующие параллельные стратегии выводов: ИЛИ-параллельный продукционный вывод; И -параллельный продукционный вывод, И-ИЛИ-параллельный продукционный вывод, равноправный вывод.

2.3.1. Стратегия ИЛИ-параллельного вывода

Под стратегией ИЛИ-параллельного продукционного вывода условимся понимать следующие способы инициализации продукций:

1. неконфликтующая продукция однократно применима к обрабатываемому слову с позиции минимального вхождения его образца;
2. конфликтующие продукции равноправно применимы к обрабатываемому слову по его копиям;
3. отсутствие вхождений всех образцов в обрабатываемое слово является признаком прекращения процесса вывода.

Пусть для продукционного исчисления B , в котором все продукции являются активными:

$$B = \left\{ \begin{array}{l} 1. \text{abs} \rightarrow \text{mpk} \\ 2. \text{bsd} \rightarrow \text{pka} \\ 3. \text{ab} \rightarrow \text{dlb} \\ 4. \text{def} \rightarrow \text{bs} \\ 5. \text{ad} \rightarrow \text{lmp} \end{array} \right.$$

определен расширенный список L' вхождений

$$L' = \left\{ \begin{array}{c} \boxed{\text{absdef}} \quad \boxed{1,2,3,4} \\ \boxed{\text{bsdef}} \quad \boxed{2,4}, \quad \boxed{\text{absd}} \quad \boxed{1,2,3}, \quad \boxed{\text{adef}} \quad \boxed{4,5}, \quad \boxed{\text{abs}} \quad \boxed{1,3} \\ \boxed{\text{bsd}} \quad \boxed{2} \quad \boxed{\text{ab}} \quad \boxed{3} \quad \boxed{\text{def}} \quad \boxed{4} \quad \boxed{\text{ad}} \quad \boxed{5} \end{array} \right\}.$$

Пусть обрабатываемое слово имеет вид $S = \text{absdbs}\#\text{adefdefabs}$, где # - метасимвол, не принадлежащий рабочему алфавиту \mathfrak{R} и трактуемый как разделитель. Следовательно, $S = S_1\#S_2$, где $S_1 = \text{absdbs}$, $S_2 = \text{adefdefabs}$.

Рассмотрим ИЛИ-параллельный продукционный вывод над S_1 (рис.2)

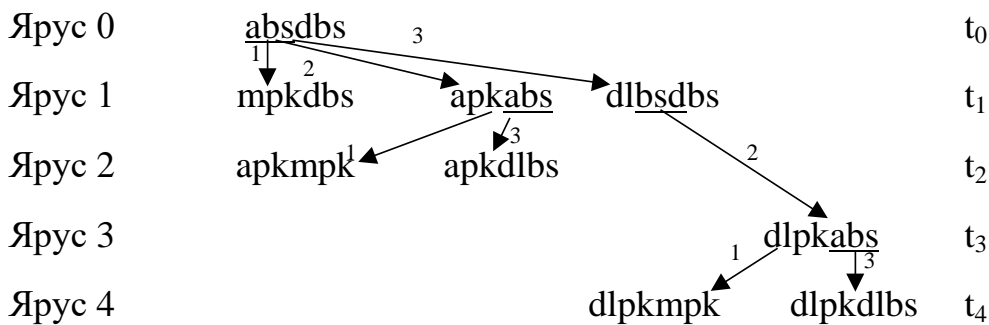


Рис.2 Дерево ИЛИ-вывода над S_1

Рассмотрим ИЛИ-параллельный вывод над вторым словом S_2 (рис.3).

2.3.2. Стратегия И-параллельного вывода

Под стратегией И-параллельного продукционного вывода условимся понимать следующие способы инициализации продукций:

1. неконфликтующие продукции независимо применимы к обрабатываемому слову с минимальных позиций независимых вхождений их образцов;
2. конфликтующие продукции последовательно по одной применимы к обрабатываемому слову по его копиям;
3. отсутствие вхождений всех образцов в обрабатываемое слово является признаком прекращения процесса вывода.

Независимое срабатывание неконфликтующих продукций достигается за счет модификации структуры обрабатываемого слова S . Под модификацией условимся понимать возможность разбиения обрабатываемого слова S на независимые

фрагменты в позициях вхождения образцов. Фрагментация данных позволит реализовывать процессы подстановки независимо по каждому выделенному фрагменту.

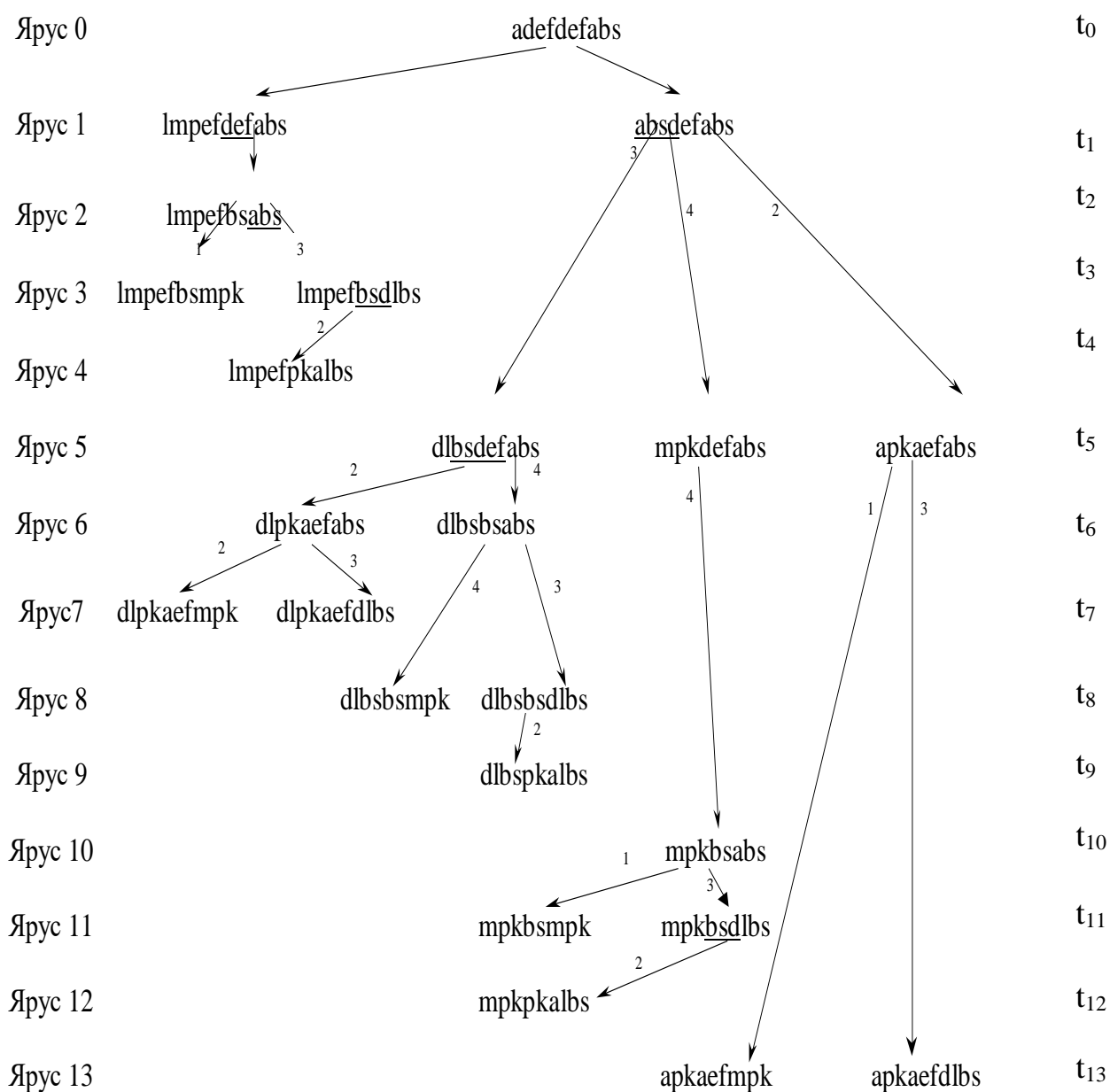
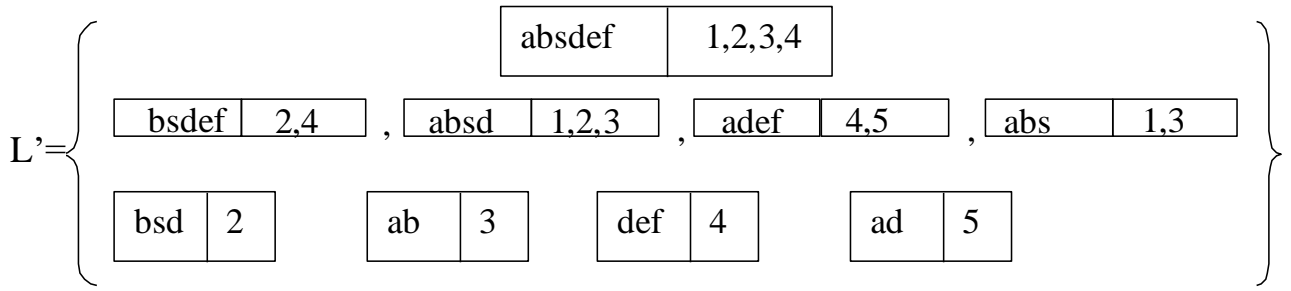


Рис.3 Дерево ИЛИ-вывода над S_2

Пусть для продукционного исчисления B , в котором все продукции являются активными:

$$B = \begin{cases} 1. abs \rightarrow mpk \\ 2. bsd \rightarrow pka \\ 3. ab \rightarrow dlb \\ 4. def \rightarrow bs \\ 5. ad \rightarrow lmp \end{cases}$$

определен расширенный список L' вхождений



Пусть обрабатываемое слово имеет вид $S = \text{absdbs}\#\text{adefdefab}$, где $\#$ - метасимвол.

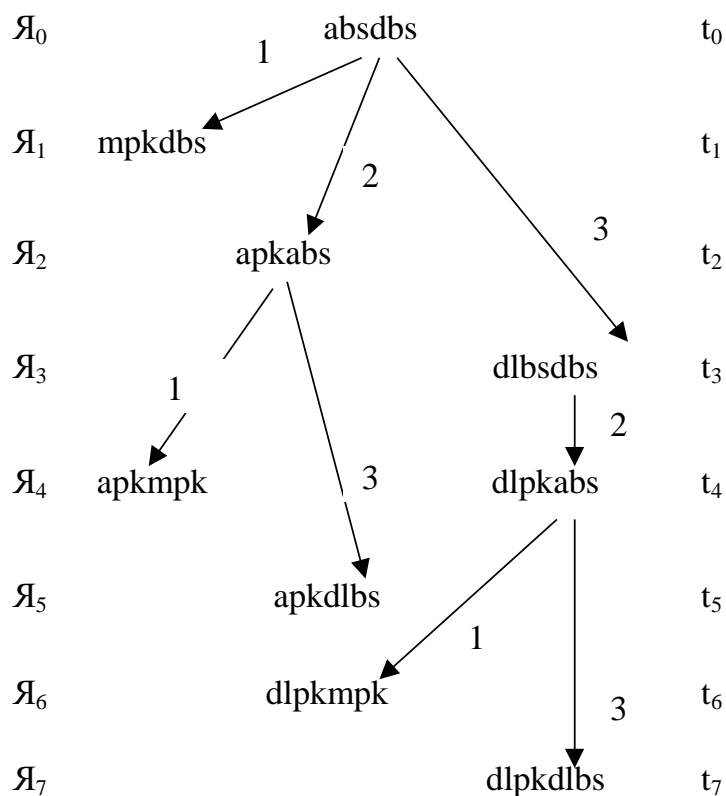
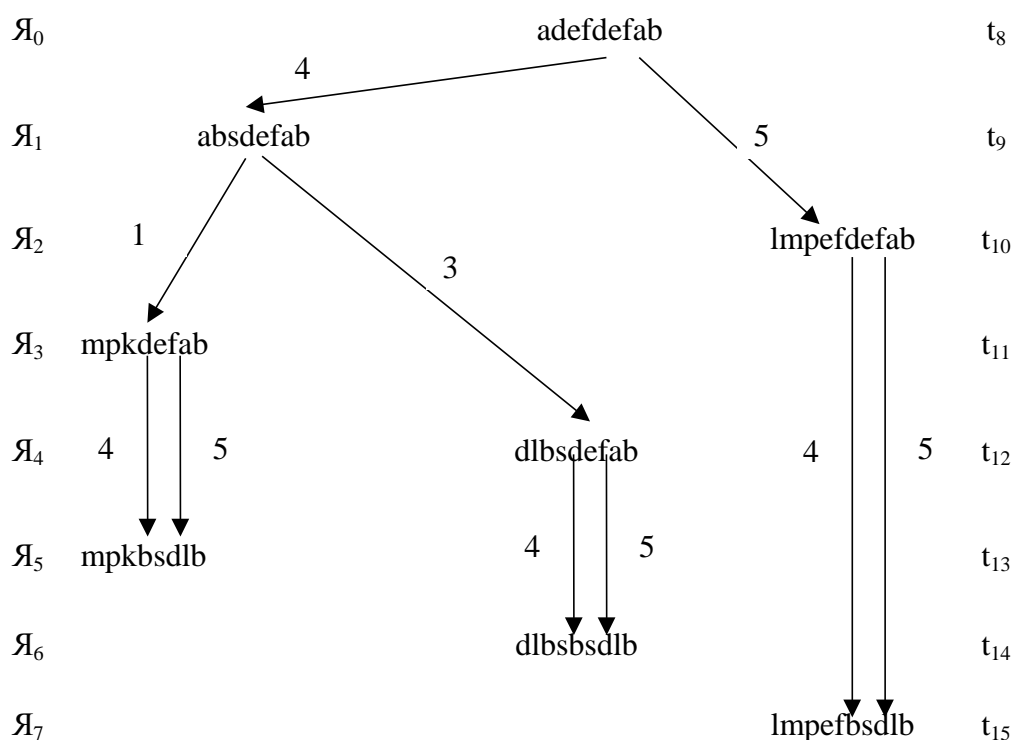
Тогда дерево вывода для данной стратегии имеет вид, представленный на рис.4 и рис.5, а общее количество ярусов вычисляется как сумма ярусов по каждому слову S_1 и S_2

2.3.3. Стратегия И-ИЛИ-параллельного вывода

Под стратегией И-ИЛИ-параллельного продукционного вывода условимся понимать следующие способы инициализации продукций:

1. неконфликтующие продукции независимо применимы к обрабатываемому слову с минимальных позиций независимых вхождений их образцов;
2. конфликтующие продукции равноправно применимы к обрабатываемому слову по его копиям;
3. отсутствие вхождений всех образцов в обрабатываемое слово является признаком прекращения процесса вывода.

Равноправное срабатывание конфликтующих продукций и независимое срабатывание неконфликтующих продукций достигается за счет создания необходимого числа копий данных для альтернативных и независимых путей дерева вывода.

Рис.4 Дерево И-вывода над S_1 Рис.5 Дерево И-вывода над S_2

Равноправное срабатывание конфликтующих продукций и независимое срабатывание неконфликтующих продукций достигается за счет создания необходимого числа копий для альтернативных и независимых путей в дереве вывода.

2.3.4. Стратегия равноправного параллельного вывода

Под стратегией равноправного параллельного вывода условимся понимать следующие способы инициализации продукций

1. все продукции равноправно применимы к копиям обрабатываемого слова S с минимальных позиций вхождений их образцов;
2. результат однократного срабатывания продукций - мультислово $\{S\}$, получаемое соединением слов-результатов от срабатывания всех продукций без очередности их записи в $\{S\}$;
3. отсутствие вхождений всех образцов в слово S_i , входящее в мультислово $\{S\}$, является признаком прекращения процесса вывода по слову S_i , которое исключается из $\{S\}$ как полученное решение.
4. отсутствие вхождений всех образцов в мультислово $\{S\}$, является признаком прекращения процесса вывода с выделением $\{S\}$ как полученных решений.

Таким образом, выводы по всем альтернативным путям независимы и осуществляются самостоятельно без использования списка конфликтных слов. Такая самостоятельность, достигаемая копированием обрабатываемых слов на входы всех продукций, обуславливает независимые вхождения образцов по различным фрагментам копии S или $\{S\}$. Следовательно, процессы поиска и подстановки по каждой продукции протекают независимо во времени и распределенно по длине копии S или $\{S\}$.

Особенность стратегии равноправных выводов – симметричный вид продукции, имеющей отличительную семантическую трактовку.

$$\lambda \leftarrow O \rightarrow P.$$

Правая часть продукции описывает ее стандартное срабатывание, т.е. замену слова-образца на слово-подстановку с минимальной позиции вхождения O в обрабатываемое слово S . Левая часть реализует аннулирующую подстановку, необходимую для устранения возвратных перемещений по альтернативным вершинам дерева вывода и состоящую в аннуляции копии обрабатываемого слова.

На рис.5 приведен пример одного шага работы пятипродукционной системы со стратегии равноправных выводов с аннулирующим срабатыванием четвертой и пятой продукций и формированием мультислова $\{S\}=S_1\#S_2\#S_3$.

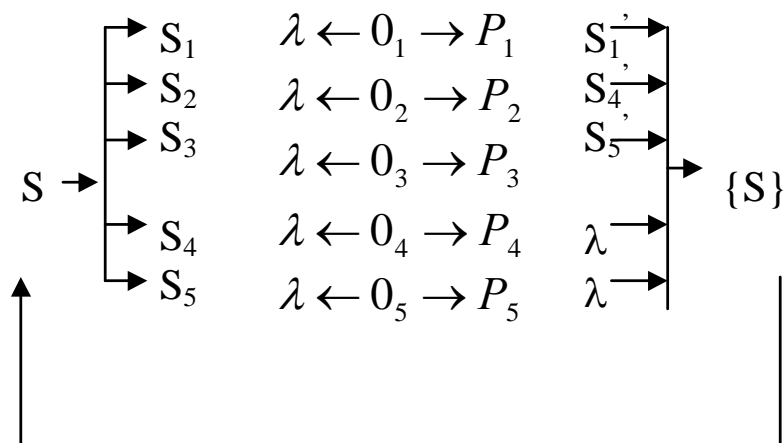


Рис. 6 Шаг работы стратегии равноправных выводов, где S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 – копии обрабатываемого слова S ; $\{S\}$ – результирующее мультислово.

Цикл построения путей в дереве вывода с использованием данной стратегии имеет два признака прекращения процесса вывода с выделением решений, графически отображаемые следующими матрицами результатов: λ -столбец и λ -матрица соответственно (рис.7).

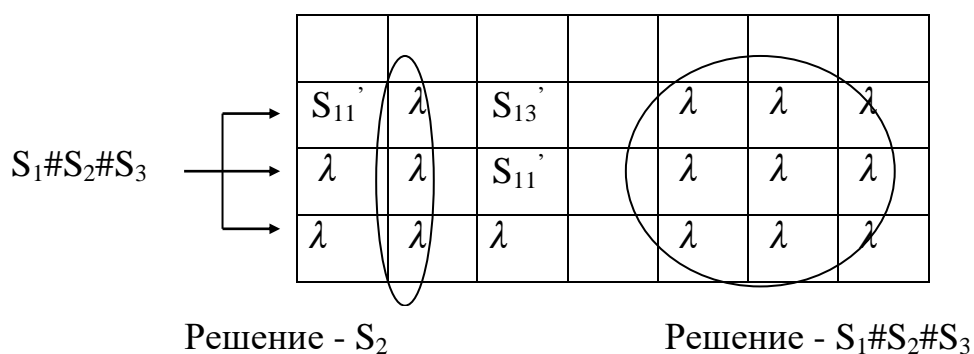


Рис. 7 Признаки выделения решений.

3. Варианты заданий

1. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, И-ИЛИ -параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. fsk→tir

S=bsdlsk#fskbsd

2. sk→mol

3. bsd→pm

4. sdl→pf

2. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, И-ИЛИ -параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. som→fish

S=asomaf#treesom

2. af→mok

3. tree→us

4. re→god

3. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, И-ИЛИ -параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. knut→um

S=knutokxlp#xlpdtok

2. tok→ad

3. xlp→mir

4. pd→ir

4. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, И-ИЛИ -параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. mal→lim

S=losalmal#dals

2. los→mil

3. als→dom

4. da→net

5. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, И-ИЛИ параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. ira→tm

S=iradad#goodol

2. ad→lpt

3. good→som

4. dol→mor

6. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, равноправные параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. som→more
 2. best→mel
 3. stol→tn
 4. ms→tok
- S=bestol#msoms

7. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, равноправные параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. sokrat→um
 2. ats→tol
 3. sok→tree
 4. ad→lm
- S=sokraats#sokratstad

8. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, равноправные параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. abq→tmp
 2. qa→sor
 3. beda→ura
 4. med→spor
- S=medqabq#bedabqa

9. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, равноправные параллельные стратегии:

1. klp→ab
 2. pol→fsa
 3. sa→bp
 4. bs→sak
- S=apolabs#klpsabs

10. Для заданной системы продукций и входного мультислова реализовать И-, ИЛИ-, равноправные параллельные стратегии и составить псевдокод программы:

1. plk→ba
 2. lop→asp
 3. as→pbp
 4. sb→as
- S=splksasb#floplks

4. Контрольные вопросы

1. Дайте определение экспертной системы. Какие существуют виды экспертных систем.
2. Опишите структуру статической экспертной системы и назначение ее блоков.
3. Что такое машина вывода экспертной системы продукционного типа.
4. Опишите цикл вывода машины вывода. Назначение блока конфликтных слов и блока проверки на динамическое распараллеливание.
5. Дайте определение конфликтного слова и укажите способы его построения.
6. Опишите алгоритм построения расширенного списка конфликтных слов.
7. Что представляют собой логические условия построения списка конфликтных слов.
8. Опишите стратегию ИЛИ-параллельных продукционных выводов. Каковы ее недостатки.
9. Опишите стратегию И-параллельных продукционных выводов. Каковы ее недостатки.
10. Опишите стратегию И-ИЛИ-параллельных продукционных выводов. Каковы ее недостатки.
11. Опишите стратегию равноправных продукционных выводов. Каковы ее недостатки.
12. Опишите два признака выделения решений в стратегии равноправных выводов.
13. *Приведите пример системы продукций, для которой невозможно построить конечный список конфликтных слов.
14. *Приведите пример системы продукций, для которой предпочтительной является ИЛИ-параллельная стратегия выводов.
15. *Приведите пример системы продукций, для которой предпочтительной

является И-параллельная стратегия выводов.

- 16.*Приведите пример системы продукций, в которой дерево решений на основе стратегии равноправных выводов формируется на основе двух признаков выделения решений.

* - вопрос повышенной сложности

Литература

1. Системы искусственного интеллекта / В. П. Добрица, Е. А. Титенко, Ю. А. Халин, А. В. Киселев. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2023. – 143 с. – ISBN 978-5-907710-54-2.
2. Модели представления и обработки знаний в информационно-аналитических системах / В. П. Добрица, Е. А. Титенко, Ю. А. Халин, А. И. Катыхин. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2023. – 172 с. – ISBN 978-5-907710-98-6.
3. Основы построения интеллектуальных систем [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Г.В. Рыбина. М.: Финансы и статистика, 2010. - 432 с. / Университетская библиотека ONLINE -<http://biblioclub.ru>