

Основы математической логики и логического программирования

ЛЕКТОР: В.А. Захаров

Лекция 12.

Хорновские логические программы: синтаксис.

Декларативная семантика логических программ.

Операционная семантика логических программ:

SLD–резольютивные вычисления.

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

ПАРАДИГМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Императивное программирование : программа — это автомат, описывающий последовательности операторов (команд).

Математическая модель: машины Тьюринга–Поста.

Языки: **Assembler, Pascal, C, Java.**

Функциональное программирование : программа — это система уравнений, описывающая вычисляемую функцию.

Математическая модель: λ -исчисление Черча–Клини, уравнения Эрбрана–Геделя.

Языки: **Lisp, ML, Haskell.**

Логическое программирование : программа — это множество формул, описывающих условия решаемой задачи.

Математическая модель: логические исчисления.

Языки: **Prolog, Godel.**

ПАРАДИГМА ЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

Декларативная семантика

ПРОГРАММА

Операционная семантика

ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ = ПРОГРАММА

**Декларативная
семантика**



**Операционная
семантика**

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Синтаксис логических программ

Пусть $\sigma = \langle Const, Func, Pred \rangle$ — некоторая сигнатура, в которой определяются термы и атомы.

«заголовок» ::= «атом»

«тело» ::= «атом» | «тело», «атом»

«правило» ::= «заголовок» \leftarrow «тело»;

«факт» ::= «заголовок»;

«утверждение» ::= «правило» | «факт»

«программа» ::= «пусто» | «утверждение» «программа»

«запрос» ::= \square | ? «тело»

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Примеры

Правило: $\underbrace{L(\text{паша}, Y)}_{\text{заголовок}} \leftarrow \underbrace{L(Y, X), L(\text{паша}, X)}_{\text{тело}};$

Факт: $L(\text{даша}, \text{саша});$

Запрос (целевое утверждение):

? $\underbrace{\text{Умный}(X)}_{\text{подцель}}, \underbrace{\text{Добрый}(X)}_{\text{подцель}}, \underbrace{\text{Красивый}(X)}_{\text{подцель}}, \underbrace{\text{Любит}(X, \text{меня})}_{\text{подцель}}$

Здесь X — целевая переменная .

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Пример логической программы

```
 $\mathcal{P}$  :  $elem(X, X \cdot L)$ ;  
 $elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$ ;  
 $concat(\mathbf{nil}, Y, Y)$ ;  
 $concat(U \cdot X, Y, U \cdot Z) \leftarrow concat(X, Y, Z)$ ;  
 $common(X, Y) \leftarrow elem(U, X), elem(U, Y)$ ;
```

и запроса к ней

? $concat(L1, L2, \text{п. р. о. г. р. а. м. м. а. nil}), common(L1, L2)$;

Какой ответ мы ожидаем получить на этот запрос?

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Пример логической программы

```
simp_path(X,X,Vert,Arc,nil) ← elem(X,Vert,U);
```

```
simp_path(X,Y,V,A,Path) ← elem(X,V,U1),elem(Y,U1,U2),  
                           find_path(X,Y,U2,A,P);
```

```
find_path(X,Y,V,A,(X.Y.nil).nil) ← elem(X.Y.nil,A,A1);
```

```
find_path(X,Y,V,A,(X.Z.nil).Path) ← elem(Z,V,V1),  
                                       elem(X.Z.nil,A,A1),  
                                       find_path(Z,Y,V1,A1,Path);
```

```
elem(X,X.L1,L1);
```

```
elem(X,Y.L1,Y.L1) ← elem(X,L1,L2);
```

и запроса к ней

```
?simp_path(4,2,1.2.3.4.nil,(1.2.nil).(2.3.nil).(2.4.nil).(3.1.nil).nil,X)
```

Что же вычислит программа в ответ на этот запрос?

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Как нужно понимать логические программы?

Главная особенность логического программирования — **полисемантичность**: одна и та же логическая программа имеет две равноправные семантики, два смысла.

Человек–программист и компьютер–вычислитель имеют две разные точки зрения на программу.

Программисту важно понимать, **ЧТО** вычисляет программа. Такое понимание программы называется **декларативной** семантикой программы.

Компьютеру важно «знать», **КАК** проводить вычисление программы. Такое понимание программы называется **операционной** семантикой программы.

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Как нужно понимать логические программы?

| Декларативная семантика | Операционная семантика |
|---|---|
| Правило $A_0 \leftarrow A_1, A_2, \dots, A_n$; | |
| Если выполнены условия A_1, A_2, \dots, A_n , то справедливо и утверждение A_0 . | Чтобы решить задачу A_0 , достаточно решить задачи A_1, A_2, \dots, A_n . |
| Факт A_0 ; | |
| Утверждение A_0 считается верным. | Задача A_0 объявляется решенной. |
| Запрос $?C_1, C_2, \dots, C_m$ | |
| При каких значениях целевых переменных будут верны все отношения C_1, C_2, \dots, C_m ? | Решить список задач C_1, C_2, \dots, C_m . |

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Пример истолкования логической программы

$$\mathcal{P} : \begin{array}{l} elem(X, X \cdot L); \\ elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L); \end{array}$$

| Декларативная семантика | Операционная семантика |
|---|---|
| 1. Всякий предмет X входит в состав того списка, заголовком которого он является | 1. Считается решенной задача поиска предмета X в любом списке, содержащем X в качестве заголовка. |
| 2. Если предмет X содержится в хвосте списка, то X содержится и в самом списке. | 2. Чтобы обнаружить предмет X в списке, достаточно найти его в хвосте этого списка. |

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Терминология

Пусть \mathcal{P} — логическая программа, D — программное утверждение, а θ — подстановка. Тогда

- ▶ $D\theta$ — **пример** программного утверждения D ,
- ▶ если θ — переименование, то $D\theta$ — **вариант** программного утверждения D ,
- ▶ если $Var_{D\theta} = \emptyset$, то $D\theta$ — **основной пример** программного утверждения D ,
- ▶ $[D]$ — множество всех основных примеров программного утверждения D ,
- ▶ $[\mathcal{P}]$ — множество всех основных примеров всех утверждений программы \mathcal{P} .

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Терминология

Пусть $G = ?C_1, C_2, \dots, C_m$ — запрос. Тогда

- ▶ атомы C_1, C_2, \dots, C_m называются **подцелями** запроса G ,
- ▶ переменные множества $\bigcup_{i=1}^m Var_{C_i}$ называются **целевыми переменными**,
- ▶ запрос \square называется **пустым запросом**,
- ▶ запросы будем также называть **целевыми утверждениями**.

Для удобства обозначения условимся в дальнейшем факты A ; рассматривать как правила $A \leftarrow$; с заголовком A и пустым телом.

$elem(X, X \blacksquare L)$;

$elem(X, X \blacksquare L) \leftarrow$;

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Примеры

Пусть $D = \text{elem}(X, Y \cdot Z) \leftarrow \text{elem}(X, Z)$; — программное утверждение. Тогда

$$D' = D\{X/Y, Z/\text{nil}\} = \text{elem}(Y, Y \cdot \text{nil}) \leftarrow \text{elem}(Y, \text{nil});$$

пример программного утверждения D ,

$$D'' = \text{elem}(X', Y' \cdot Z') \leftarrow \text{elem}(X', Z');$$

вариант программного утверждения D ,

$$D''' = D\{X/1, Y/2, Z/\text{nil}\} = \text{elem}(1, 2 \cdot \text{nil}) \leftarrow \text{elem}(1, \text{nil});$$

основной пример программного утверждения D ,

ДЕКЛАРАТИВНАЯ СЕМАНТИКА

Более строгое описание семантик требует привлечения аппарата математической логики.

Логические программы и логические формулы

Каждому утверждению логической программы сопоставим логическую формулу:

Правило: $D' = A_0 \leftarrow A_1, A_2, \dots, A_n$;

$D' = \forall X_1 \dots \forall X_k (A_1 \& A_2 \& \dots \& A_n \rightarrow A_0)$, где $\{X_1, \dots, X_k\} = \bigcup_{i=0}^n \text{Var}_{A_i}$;

Факт: $D'' = A$;

$D'' = \forall X_1 \dots \forall X_k A$, где $\{X_1, \dots, X_k\} = \text{Var}_A$

Запрос: $G = ? C_1, C_2, \dots, C_m$

$G = C_1 \& C_2 \& \dots \& C_m$

ДЕКЛАРАТИВНАЯ СЕМАНТИКА

С точки зрения декларативной семантики,

- ▶ программные утверждения D и запросы G — это логические формулы,
- ▶ программа \mathcal{P} — это множество формул (база знаний),
- ▶ а правильный ответ на запрос — это такие значения переменных (подстановка), при которой запрос оказывается логическим следствием базы знаний.

ДЕКЛАРАТИВНАЯ СЕМАНТИКА

Определение (правильного ответа)

Пусть \mathcal{P} — логическая программа, G — запрос к \mathcal{P} с множеством целевых переменных Y_1, \dots, Y_k .

Тогда всякая подстановка $\theta = \{Y_1/t_1, \dots, Y_k/t_k\}$ называется **ответом** на запрос G к программе \mathcal{P} .

Ответ $\theta = \{Y_1/t_1, \dots, Y_k/t_k\}$ называется **правильным ответом** на запрос G к программе \mathcal{P} , если

$$\mathcal{P} \models \forall Z_1 \dots \forall Z_N G\theta, \quad \text{где } \{Z_1, \dots, Z_N\} = \bigcup_{i=1}^k \text{Var}_{t_i}.$$

ХОРНОВСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Примеры правильных ответов

Правильными ответами на запрос $G : ? \text{elem}(X, \text{с.т.о.л. nil})$; обращенный к логической программе

$$\begin{aligned} \mathcal{P} : \quad & \text{elem}(X, X \cdot L); \\ & \text{elem}(X, Y \cdot L) \leftarrow \text{elem}(X, L); \end{aligned}$$

являются четыре подстановки

$$\theta_1 = \{X/c\}, \theta_2 = \{X/t\}, \theta_3 = \{X/o\}, \theta_4 = \{X/l\},$$

поскольку для любой из этих подстановок верно соотношение

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall X \forall Y \forall L (\text{elem}(X, L) \rightarrow \text{elem}(X, Y \cdot L)), \\ \forall X \forall L \text{elem}(X, X \cdot L) \end{array} \right\} \models \text{elem}(X, \text{с.т.о.л. nil})\theta_i .$$

Но как искать правильные ответы?

ОПЕРАЦИОННАЯ СЕМАНТИКА ЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

Концепция операционной семантики

Под **операционной семантикой** понимают правила построения **вычислений программы**. Операционная семантика описывает, **КАК** достигается результат работы программы.

Ожидаемый результат работы логической программы — это **правильный ответ** на запрос к программе. Значит, операционная семантика должна описывать метод вычисления правильных ответов.

Таким методом вычисления может быть разновидность **метода резолюций**, учитывающая особенности устройства программных утверждений.

ОПЕРАЦИОННАЯ СЕМАНТИКА

Логически предпосылки операционной семантики

Запрос $G(Y_1, \dots, Y_m) =? C_1, C_2, \dots, C_m$ к логической программе $\mathcal{P} = \{D_1, \dots, D_N\}$ порождает задачу о логическом следствии:

$$\{D_1, \dots, D_N\} \models \exists Y_1 \dots \exists Y_k (C_1 \& C_2 \& \dots \& C_m),$$

которая равносильна задаче об общезначимости

$$\models D_1 \& \dots \& D_N \rightarrow \exists Y_1 \dots \exists Y_k (C_1 \& C_2 \& \dots \& C_m),$$

которая равносильна задаче о противоречивости формулы

$$\neg (D_1 \& \dots \& D_N \rightarrow \exists Y_1 \dots \exists Y_k (C_1 \& C_2 \& \dots \& C_m)),$$

равносильной формуле

$$D_1 \& \dots \& D_N \& \forall Y_1 \dots \forall Y_k (\neg C_1 \vee \neg C_2 \vee \dots \vee \neg C_m),$$

ОПЕРАЦИОННАЯ СЕМАНТИКА

Логически предпосылки операционной семантики

Полученную формулу

$$D_1 \& \dots \& D_N \& \forall Y_1 \dots \forall Y_k (\neg C_1 \vee \neg C_2 \vee \dots \vee \neg C_m),$$

можно рассматривать как систему дизъюнктов

$$S_{P,G} = \{D_1, \dots, D_N, \neg C_1 \vee \neg C_2 \vee \dots \vee \neg C_m\},$$

и доказывать ее противоречивость методом резолюций.

ОПЕРАЦИОННАЯ СЕМАНТИКА

Логические программы и хорновские дизъюнкты

Каждому утверждению логической программы сопоставим хорновский дизъюнкт:

Правило: $D' = A_0 \leftarrow A_1, A_2, \dots, A_n$

$$D' = A_0 \vee \neg A_1 \vee \neg A_2 \vee \dots \vee \neg A_n$$

Факт: $D'' = A$

$$D'' = A$$

Запрос: $G = ? C_1, C_2, \dots, C_m$

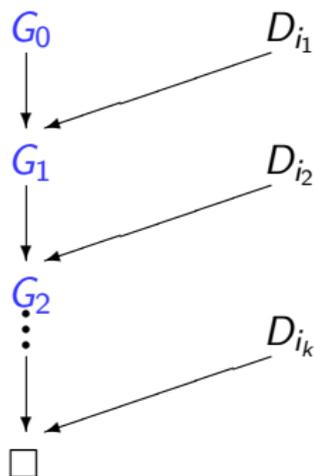
$$G = \neg C_1 \vee \neg C_2 \vee \dots \vee \neg C_m$$

Как это принято у дизъюнктов, предполагается, что все переменные связаны кванторами \forall .

ОПЕРАЦИОННАЯ СЕМАНТИКА

Логические программы и хорновские дизъюнкты

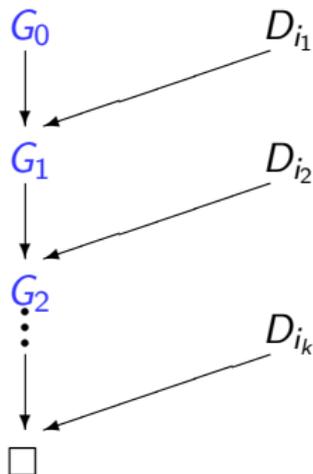
Мы будем применять специальную стратегию построения
резольтивного вывода:



ОПЕРАЦИОННАЯ СЕМАНТИКА

Логические программы и хорновские дизъюнкты

Мы будем применять специальную стратегию построения резольтивного вывода:



Linear resolution with **S**election function for **D**efinite clauses

SLD-резолуция (Р. Ковальски)

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

Пусть

- ▶ $G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$ — целевое утверждение, в котором выделена подцель C_i ,
- ▶ $D' = A'_0 \leftarrow A'_1, A'_2, \dots, A'_n$ — **вариант** некоторого программного утверждения, в котором $Var_G \cap Var_{D'} = \emptyset$,
- ▶ $\theta \in HOY(C_i, A'_0)$ — наиб. общ. унификатор подцели C_i и заголовка программного утверждения A'_0 .

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

Пусть

- ▶ $G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$ — целевое утверждение, в котором выделена подцель C_i ,
- ▶ $D' = A'_0 \leftarrow A'_1, A'_2, \dots, A'_n$ — **вариант** некоторого программного утверждения, в котором $Var_G \cap Var_{D'} = \emptyset$,
- ▶ $\theta \in HOY(C_i, A'_0)$ — наиб. общ. унификатор подцели C_i и заголовка программного утверждения A'_0 .

Тогда запрос

$$G' = ?(C_1, \dots, C_{i-1}, A'_1, A'_2, \dots, A'_n, C_{i+1}, \dots, C_m)\theta$$

называется **SLD-резольвентой** программного утверждения D' и запроса G с выделенной подцелью C_i и унификатором θ .

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

$$G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$$

КОММЕНТАРИИ.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

$$G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$$

КОММЕНТАРИИ.

Выделяем подцель в запросе.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

$$G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$$

$$D = A_0 \leftarrow A_1, A_2, \dots, A_n$$

КОММЕНТАРИИ.

Выбираем программное утверждение.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

$$G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$$

$$D' = A'_0 \leftarrow A'_1, A'_2, \dots, A'_n;$$

КОММЕНТАРИИ.

Переименовываем переменные в выбранном утверждении, так чтобы $Var_{D'} \cap Var_G = \emptyset$.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

$$G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$$

$$D' = A'_0 \leftarrow A'_1, A'_2, \dots, A'_n;$$

$$\theta = \text{НОУ}(C_i, A'_0)$$

КОММЕНТАРИИ.

Вычисляем Наиболее Общий Унификатор.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

$$G = ? C_1, \dots, C_i, \dots, C_m$$



$$D' = A'_0 \leftarrow A'_1, A'_2, \dots, A'_n;$$

$$\theta = \text{НОУ}(C_i, A'_0)$$

$$G' = ? (C_1, \dots, C_{i-1}, A'_1, A'_2, \dots, A'_n, C_{i+1}, \dots, C_m)\theta$$

КОММЕНТАРИИ.

Строим SLD-резольвенту

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолюции)

$$G = \neg C_1 \vee \dots \vee \neg C_i \vee \dots \vee \neg C_m$$
$$D' = A'_0 \vee \neg A'_1 \vee \neg A'_2 \vee \dots \vee A'_n;$$
$$\theta = \text{НОУ}(C_i, A'_0)$$
$$G' = (\neg C_1 \vee \dots \vee \neg C_{i-1} \vee \neg A'_1 \vee \neg A'_2 \vee \dots \vee \neg A'_n \vee \neg C_{i+1} \vee \dots \vee \neg C_m)\theta$$

КОММЕНТАРИИ.

Действительно, это резольвента двух дизъюнктов

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 1.

$$G = ? P(X), R(X, f(Y)), R(Y, c)$$

КОММЕНТАРИИ.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 1.

$$G = ? P(X), R(X, f(Y)), R(Y, c)$$

КОММЕНТАРИИ.

Выделяем подцель в запросе.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 1.

$$G = ? P(X), R(X, f(Y)), R(Y, c)$$

$$D = R(Y, X) \leftarrow P(X), R(c, Y);$$

КОММЕНТАРИИ.

Выбираем программное утверждение.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 1.

$$G = ? P(X), R(X, f(Y)), R(Y, c)$$

$$D' = R(Y_1, X_1) \leftarrow P(X_1), R(c, Y_1);$$

КОММЕНТАРИИ.

Переименовываем переменные в выбранном утверждении, так чтобы $Var_{D'} \cap Var_G = \emptyset$.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 1.

$$G = ? P(X), R(X, f(Y)), R(Y, c)$$

$$D' = R(Y_1, X_1) \leftarrow P(X_1), R(c, Y_1);$$

$$\theta = \text{НОУ}(R(X, f(Y)), R(Y_1, X_1)) = \{Y_1/X, X_1/f(Y)\}$$

КОММЕНТАРИИ.

Вычисляем Наиболее Общий Унификатор.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 1.

$$G = ? P(X), R(X, f(Y)), R(Y, c)$$

$$D' = R(Y_1, X_1) \leftarrow P(X_1), R(c, Y_1);$$

$$\theta = \text{НОУ}(R(X, f(Y)), R(Y_1, X_1)) = \{Y_1/X, X_1/f(Y)\}$$

$$G' = ? (P(X), P(X_1), R(c, Y_1), R(Y, c))\theta$$

КОММЕНТАРИИ.

Строим SLD-резольвенту

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 1.

$$G = ? P(X), R(X, f(Y)), R(Y, c)$$

$$D' = R(Y_1, X_1) \leftarrow P(X_1), R(c, Y_1);$$

$$\theta = \text{НОУ}(R(X, f(Y)), R(Y_1, X_1)) = \{Y_1/X, X_1/f(Y)\}$$

$$G' = ? P(X), P(f(Y)), R(c, X), R(Y, c)$$

КОММЕНТАРИИ.

Вот она.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 2.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil})$$

КОММЕНТАРИИ.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 2.

$$G = ? R(X, X \cdot \text{nil})$$

КОММЕНТАРИИ.

Выделяем подцель в запросе.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 2.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil})$$

$$D = R(X \bullet \text{nil}, Y) \leftarrow;$$

КОММЕНТАРИИ.

Выбираем программное утверждение.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 2.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil})$$

$$D' = R(X_1 \bullet \text{nil}, Y_1) \leftarrow;$$

КОММЕНТАРИИ.

Переименовываем переменные в выбранном утверждении, так чтобы $Var_{D'} \cap Var_G = \emptyset$.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 2.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil})$$

$$D' = R(X_1 \bullet \text{nil}, Y_1) \leftarrow;$$

$$\theta = \text{НОУ}(R(X, X \bullet \text{nil}), R(X_1 \bullet \text{nil}, Y_1)) = \\ \{X/X_1 \bullet \text{nil}, Y_1/(X_1 \bullet \text{nil}) \bullet \text{nil}\}$$

КОММЕНТАРИИ.

Вычисляем Наиболее Общий Унификатор.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 2.

$$G = ? R(X, X \cdot \text{nil})$$



$$D' = R(X_1 \cdot \text{nil}, Y_1) \leftarrow;$$

$$\theta = \text{НОУ}(R(X, X \cdot \text{nil}), R(X_1 \cdot \text{nil}, Y_1)) = \\ \{X/X_1 \cdot \text{nil}, Y_1/(X_1 \cdot \text{nil}) \cdot \text{nil}\}$$

$$G' = (\square)\theta$$

КОММЕНТАРИИ.

Строим SLD-резольвенту

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 2.

$$G = ? R(X, X \cdot \text{nil})$$



$$D' = R(X_1 \cdot \text{nil}, Y_1) \leftarrow;$$

$$\theta = \text{НОУ}(R(X, X \cdot \text{nil}), R(X_1 \cdot \text{nil}, Y_1)) = \\ \{X/X_1 \cdot \text{nil}, Y_1/(X_1 \cdot \text{nil}) \cdot \text{nil}\}$$

$$G' = \square$$

КОММЕНТАРИИ.

Вот она.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 3.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil}), P(c, Y)$$

КОММЕНТАРИИ.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 3.

$$G = ? R(X, X \cdot \mathbf{nil}), P(c, Y)$$

КОММЕНТАРИИ.

Выделяем подцель в запросе.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 3.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil}), P(c, Y)$$

$$D = R(X \bullet \text{nil}, X) \leftarrow;$$

КОММЕНТАРИИ.

Выбираем программное утверждение.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 3.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil}), P(c, Y)$$

$$D' = R(X_1 \bullet \text{nil}, X_1) \leftarrow;$$

КОММЕНТАРИИ.

Переименовываем переменные в выбранном утверждении,

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 3.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil}), P(c, Y)$$

$$D' = R(X_1 \bullet \text{nil}, X_1) \leftarrow;$$

$$\text{НОУ}(R(X, X \bullet \text{nil}), R(X_1 \bullet \text{nil}, X_1)) = \emptyset$$

КОММЕНТАРИИ.

Атомы не унифицируемы!

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 3.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil}), P(c, Y)$$

$$D' = R(X_1 \bullet \text{nil}, X_1) \leftarrow;$$

$$\text{НОУ}(R(X, X \bullet \text{nil}), R(X_1 \bullet \text{nil}, X_1)) = \emptyset$$

КОММЕНТАРИИ.

Значит, SLD-резольвенту нельзя построить.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 3.

$$G = ? R(X, X \bullet \text{nil}), P(c, Y)$$

$$D' = R(X_1 \bullet \text{nil}, X_1) \leftarrow;$$

$$\text{НОУ}(R(X, X \bullet \text{nil}), R(X_1 \bullet \text{nil}, X_1)) = \emptyset$$

КОММЕНТАРИИ.

Нужно выделить другую подцель или
выбрать другое программное утверждение.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолютивного вычисления)

Пусть

- ▶ $G_0 = ? C_1, C_2, \dots, C_m$ — целевое утверждение,
- ▶ $\mathcal{P} = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$ — хорновская логическая программа.

Тогда (частичным) **SLD-резолютивным вычислением**, порожденным запросом G_0 к логической программе \mathcal{P} называется последовательность троек (конечная или бесконечная)

$$(D_{j_1}, \theta_1, G_1), (D_{j_2}, \theta_2, G_2), \dots, (D_{j_n}, \theta_n, G_n), \dots,$$

в которой для любого i , $i \geq 1$,

- ▶ $D_{j_i} \in \mathcal{P}$, $\theta_i \in \text{Subst}$, G_i — целевое утверждение (запрос);
- ▶ запрос G_i является SLD-резольвентой программного утверждения D_{j_i} и запроса G_{i-1} с унификатором θ_i .

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолютивного вычисления)

Частичное SLD-резолютивное вычисление

$$comp = (D_{j_1}, \theta_1, G_1), (D_{j_2}, \theta_2, G_2), \dots, (D_{j_k}, \theta_n, G_n)$$

называется

- ▶ **успешным вычислением** (SLD-резолютивным опровержением), если $G_n = \square$;
- ▶ **бесконечным вычислением**, если $comp$ — это **бесконечная** последовательность;
- ▶ **тупиковым вычислением**, если $comp$ — это **конечная** последовательность, и при этом для выделенной подцели запроса G_n невозможно построить ни одной SLD-резольвенты.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Определение (SLD-резолютивного вычисления)

Пусть

- ▶ $G_0 = ? C_1, C_2, \dots, C_m$ — целевое утверждение с целевыми переменными Y_1, Y_2, \dots, Y_k ,
- ▶ $\mathcal{P} = \{D_1, D_2, \dots, D_N\}$ — хорновская логическая программа,
- ▶ $comp = (D_{j_1}, \theta_1, G_1), (D_{j_2}, \theta_2, G_2), \dots, (D_{j_n}, \theta_n, \square)$ — успешное SLD-резолютивное вычисление, порожденное запросом G к программе \mathcal{P} .

Тогда подстановка $\theta = (\theta_1\theta_2 \dots \theta_n)|_{Y_1, Y_2, \dots, Y_k}$,

представляющая собой композицию всех вычисленных унификаторов $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$, ограниченную целевыми переменными Y_1, Y_2, \dots, Y_k ,

называется **вычисленным ответом** на запрос G_0 к программе \mathcal{P} .

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X/X_1, Y_1/a, L_1/b \cdot c \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(X_1, b \cdot c \cdot nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X/X_1, Y_1/a, L_1/b \cdot c \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(X_1, b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X/X_1, Y_1/a, L_1/b \cdot c \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(X_1, b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;
 $\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/c \cdot nil\}$

$G_2 = ?elem(X_2, c \cdot nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X/X_1, Y_1/a, L_1/b \cdot c \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(X_1, b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;
 $\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/c \cdot nil\}$

$G_2 = ?elem(X_2, c \cdot nil)$

$elem(X_3, X_3 \cdot nil)$;

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L);$

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L);$

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1);$

$\theta_1 = \{X/X_1, Y_1/a, L_1/b \cdot c \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(X_1, b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2);$

$\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/c \cdot nil\}$

$G_2 = ?elem(X_2, c \cdot nil)$

$elem(X_3, X_3 \cdot nil);$

$\theta_3 = \{X_2/c, X_3/c\}$

$G_3 = \square$

УСПЕХ!

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 4.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L);$

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L);$

Запрос G_0 :

? $elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(X, a \cdot b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1);$

$\theta_1 = \{X/X_1, Y_1/a, L_1/b \cdot c \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(X_1, b \cdot c \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2);$

$\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/c \cdot nil\}$

$G_2 = ?elem(X_2, c \cdot nil)$

$elem(X_3, X_3 \cdot nil);$

$\theta_3 = \{X_2/c, X_3/c\}$

$G_3 = \square$

УСПЕХ!

Вычисленный ответ: $\theta = (\theta_1\theta_2\theta_3)|_X = \{X/c\}$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X_1/c, Y_1/a, L_1/b \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(c, b \cdot nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X_1/c, Y_1/a, L_1/b \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(c, b \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X_1/c, Y_1/a, L_1/b \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(c, b \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;
 $\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/nil\}$

$G_2 = ?elem(c, nil)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;

$\theta_1 = \{X_1/c, Y_1/a, L_1/b \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(c, b \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;

$\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/nil\}$

$G_2 = ?elem(c, nil)$

$elem(X_3, X_3 \cdot L_3)$;

Нет унификатора

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;

$\theta_1 = \{X_1/c, Y_1/a, L_1/b \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(c, b \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;

$\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/nil\}$

$G_2 = ?elem(c, nil)$

$elem(X_3, Y_3 \cdot L_3) \leftarrow elem(X_3, L_3)$;

Нет унификатора

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 5.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L);$

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L);$

Запрос G_0 :

? $elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$G_0 = ?elem(c, a \cdot b \cdot nil)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1);$

$\theta_1 = \{X_1/c, Y_1/a, L_1/b \cdot nil\}$

$G_1 = ?elem(c, b \cdot nil)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2);$

$\theta_2 = \{X_1/X_2, Y_2/b, L_2/nil\}$

$G_2 = ?elem(c, nil)$

failure

Нет SLD-резольвенты

ТУПИК!

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X_1/a, X/Y_1 \cdot L_1\}$

$G_1 = ?elem(a, L_1)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X_1/a, X/Y_1 \cdot L_1\}$

$G_1 = ?elem(a, L_1)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X_1/a, X/Y_1 \cdot L_1\}$

$G_1 = ?elem(a, L_1)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;
 $\theta_2 = \{X_2/a, L_1/Y_2 \cdot L_2\}$

$G_2 = ?elem(a, L_2)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;
 $\theta_1 = \{X_1/a, X/Y_1 \cdot L_1\}$

$G_1 = ?elem(a, L_1)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;
 $\theta_2 = \{X_2/a, L_1/Y_2 \cdot L_2\}$

$G_2 = ?elem(a, L_2)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L)$;

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L)$;

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1)$;

$\theta_1 = \{X_1/a, X/Y_1 \cdot L_1\}$

$G_1 = ?elem(a, L_1)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2)$;

$\theta_2 = \{X_2/a, L_1/Y_2 \cdot L_2\}$

$G_2 = ?elem(a, L_2)$

$elem(X_3, Y_3 \cdot L_3) \leftarrow elem(X_3, L_3)$;

$\theta_3 = \{X_3/a, L_2/Y_3 \cdot L_3\}$

$G_3 = ?elem(a, L_3)$

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Пример 6.

Логическая программа \mathcal{P} :

$elem(X, X \cdot L);$

$elem(X, Y \cdot L) \leftarrow elem(X, L);$

Запрос G_0 :

? $elem(a, X)$

$G_0 = ?elem(a, X)$

$elem(X_1, Y_1 \cdot L_1) \leftarrow elem(X_1, L_1);$

$\theta_1 = \{X_1/a, X/Y_1 \cdot L_1\}$

$G_1 = ?elem(a, L_1)$

$elem(X_2, Y_2 \cdot L_2) \leftarrow elem(X_2, L_2);$

$\theta_2 = \{X_2/a, L_1/Y_2 \cdot L_2\}$

$G_2 = ?elem(a, L_2)$

$\theta_3 = \{X_3/a, L_2/Y_3 \cdot L_3\}$

$G_3 = ?elem(a, L_3)$

и т. д. до ∞

Бесконечное вычисление.

SLD-РЕЗОЛЮТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Теперь у нас есть два типа ответов на запросы к логическим программам:

- ▶ **правильные ответы**, которые логически следуют из программы;
- ▶ **вычисленные ответы**, которые конструируются по ходу SLD-резолютивных вычислений.

Правильные ответы — это то, что мы хотим получить, обращаясь с вопросами к программе.

Вычисленные ответы — это то, что нам в действительности выдает компьютер (интерпретатор программы).

Какова связь между правильными и вычисленными ответами?

КОНЕЦ ЛЕКЦИИ 12.