

Основы математической логики и логического программирования

ЛЕКТОР: В.А. Захаров

Лекция 16.

Управление вычислениями
логических программ.
Оператор отсечения.

Вопросы:

А как организовано вычисление логических программ на компьютере?

Как устроен интерпретатор логических программ?

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Простейший способ организации работы логических программ на основе стандартной стратегии обхода дерева SLD-резольтивных вычислений в глубину с возвратом — это работа со **стеком** (или **магазином**).

В каждом элементе S_n стека содержится следующая информация:

- ▶ Текущее целевое утверждение (запрос) G_n ;
- ▶ Композиция всех ранее вычисленных унификаторов $\eta_n = (\theta_1 \dots \theta_n) | \text{цел.перем}$;
- ▶ Счетчик использованных программных утверждений $count_n$;
- ▶ Специальные пометки (о некоторых из них будет рассказано далее).

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y); \quad (1)$$

$$P(X, X) \leftarrow Q(X); \quad (2)$$

$$R(b) \leftarrow; \quad (3)$$

$$Q(c) \leftarrow; \quad (4)$$

Протокол:

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$

Протокол:

SLD-резолюция

$HOU = \{X_1/U, Y_1/V\}$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 2$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$
$\eta = \{U/b\}; \quad count = 1$

Протокол:

SLD-резолюция

$HOU = \{U/b\}$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$
$\eta = \{U/b\}; \quad count = 1$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$
$\eta = \{U/b\}; \quad count = 2$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$
$\eta = \{U/b\}; \quad count = 3$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$
$\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

SLD-резолюция

$HOU = \{V/c\}$

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \quad count = 1$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \quad count = 1$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \quad count = 2$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

Унификация

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \quad count = 3$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

SLD-резолюция

$HOY = \varepsilon$

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \quad count = 3$
\square $\eta = \{U/b, V/c\}$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

Успех: $\eta = \{U/b, V/c\}$

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 3$
\square $\eta = \{U/b, V/c\}$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

Откат

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \quad count = 3$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \quad count = 4$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$
$?Q(V), R(b)$
$\eta = \{U/b\}; \quad count = 4$

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$
$?R(U), Q(V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \quad count = 2$

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$
$\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; count = 1$

Протокол:

SLD-резолюция

$HOU = \{U/X_1, V/X_1\}$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \quad count = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$
$\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; count = 1$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$
$\eta = \varepsilon; \text{ count} = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$
$\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \text{ count} = 2$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \text{ count} = 2$

$?Q(X_1), R(X_1)$

$\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \text{ count} = 3$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \text{ count} = 2$

$?Q(X_1), R(X_1)$

$\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \text{ count} = 4$

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$ $\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \quad count = 4$
$?R(c)$ $\eta = \{U/c, V/c\}; \quad count = 1$

Протокол:

SLD-резолюция

$HOУ = \{X_1/c\}$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$ $\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \quad count = 4$
$?R(c)$ $\eta = \{U/c, V/c\}; \quad count = 1$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$ $\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \quad count = 4$
$?R(c)$ $\eta = \{U/c, V/c\}; \quad count = 2$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$ $\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \quad count = 4$
$?R(c)$ $\eta = \{U/c, V/c\}; \quad count = 3$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \quad count = 2$
$?Q(X_1), R(X_1)$ $\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \quad count = 4$
$?R(c)$ $\eta = \{U/c, V/c\}; \quad count = 4$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \text{ count} = 2$

$?Q(X_1), R(X_1)$

$\eta = \{U/X_1, V/X_1\}; \text{ count} = 4$

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \quad count = 2$

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \quad count = 3$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$?P(U, V), R(U)$

$\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример стекового вычисления логических программ

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$$P(X, Y) \leftarrow R(X), Q(Y); \quad (1)$$

$$P(X, X) \leftarrow Q(X); \quad (2)$$

$$R(b) \leftarrow; \quad (3)$$

$$Q(c) \leftarrow; \quad (4)$$

Протокол:

Конец вычислений

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Д. Уоррен предложил более эффективную схему реализации интерпретаторов логических программ (Warren Abstract Machine), в которой вместо единого стека используется несколько стеков, перераспределяющих данные вычисления наиболее оптимальным способом. Эта схема положена в основу всех современных компиляторов логических программ.

А как программист может управлять вычислением логической программы?

Есть два основных способа управления:

- ▶ Выбирать правильный порядок расположения атомов в телах процедур (по принципу: вначале решать простые задачи, а потом сложные).
- ▶ Выбирать правильный порядок расположения программных утверждений (по принципу: вначале предлагать простые способы решения, а потом сложные).

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример

Рассмотрим две программы поиска маршрута в ориентированном графе.

$$\mathcal{P}_1 : \text{Path}((X \cdot Z \cdot \text{nil}) \cdot U, X, Y) \leftarrow \text{Path}(U, Z, Y), \text{Arc}(X \cdot Z \cdot \text{nil});$$
$$\text{Path}(\text{nil}, X, X) \leftarrow;$$
$$\mathcal{P}_2 : \text{Path}(\text{nil}, X, X) \leftarrow;$$
$$\text{Path}((X \cdot Z \cdot \text{nil}) \cdot U, X, Y) \leftarrow \text{Arc}(X \cdot Z \cdot \text{nil}), \text{Path}(U, Z, Y);$$

За счет правильного упорядочения атомов и программных утверждений программа \mathcal{P}_2 проводит вычисление маршрута более эффективно чем программа \mathcal{P}_1 . На самом деле, обе программы несовершенны, поскольку обе могут зациклиться даже в случае простых графов. (Привести пример.)

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Но иногда и этих средств управления вычислением программ недостаточно для эффективного решения задачи.

Предположим, что нам нужно написать программу, которая проверяет, верно ли, что заданная буква содержится в заданном слове (например, буква a в слове $abaa$).

Можно предложить вот такую программу:

$$G : \text{?Elem}(a, a \cdot b \cdot a \cdot a \cdot \text{nil})$$
$$\mathcal{P} : \begin{aligned} \text{Elem}(X, X \cdot Y) &\leftarrow; \\ \text{Elem}(X, Z \cdot Y) &\leftarrow \text{Elem}(X, Y); \end{aligned}$$

Тогда вычисления будут развиваться так.

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$
 $\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$

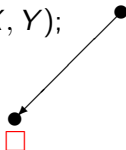
• $? \text{Elem}(a, a \cdot b \cdot a \cdot a \cdot \text{nil})$

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$

$? \text{Elem}(a, a \cdot b \cdot a \cdot a \cdot \text{nil})$

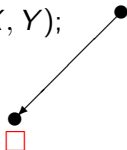


УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$

$?\text{Elem}(a, a \cdot b \cdot a \cdot a \cdot \text{nil})$



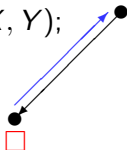
Ответ: YES

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$

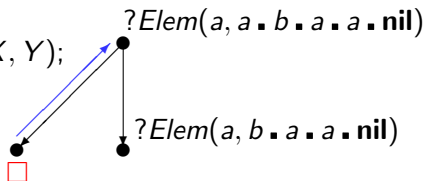
$? \text{Elem}(a, a \cdot b \cdot a \cdot a \cdot \text{nil})$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

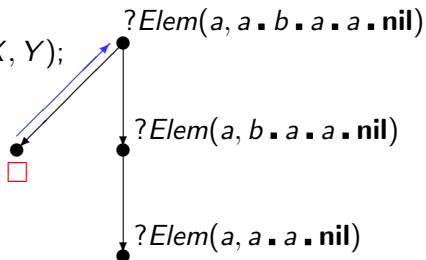
$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : Elem(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

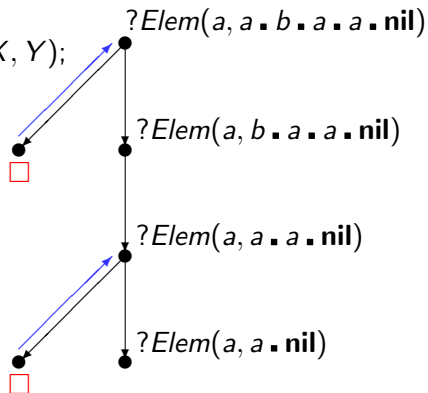
$Elem(X, Z \cdot Y) \leftarrow Elem(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

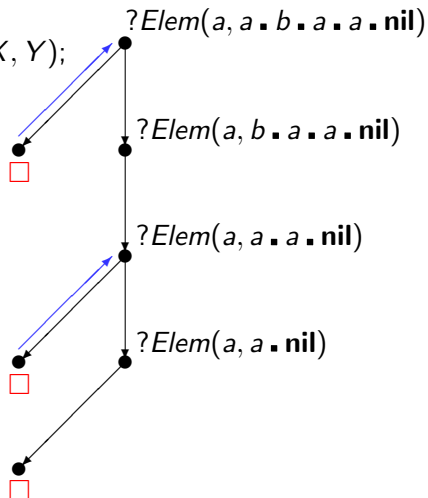
$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$

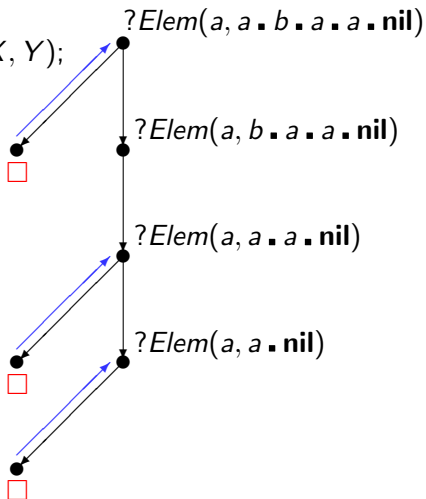


Ответ: YES

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

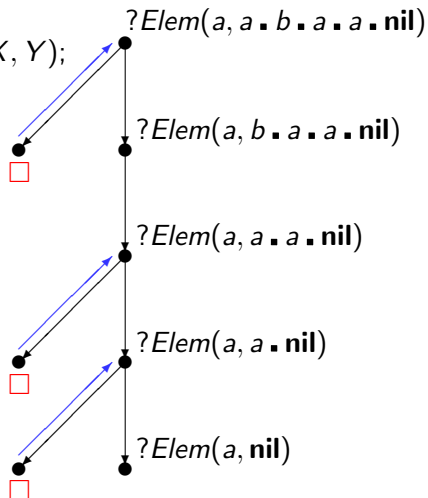
$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : Elem(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

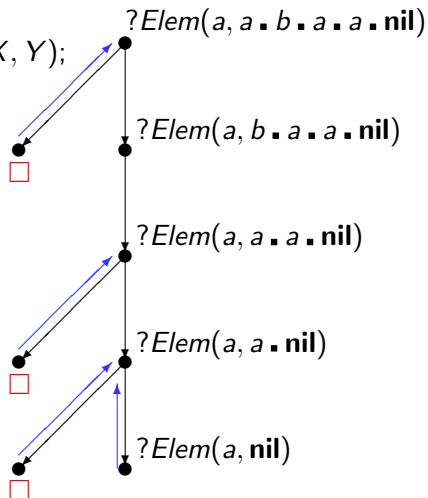
$Elem(X, Z \cdot Y) \leftarrow Elem(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : Elem(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

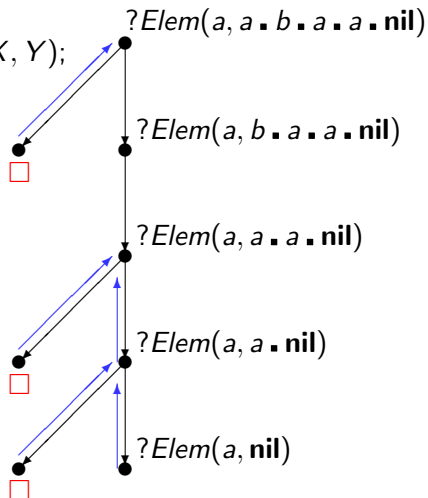
$Elem(X, Z \cdot Y) \leftarrow Elem(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

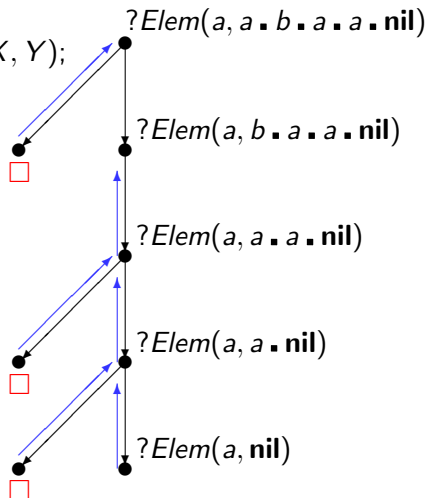
$\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : Elem(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

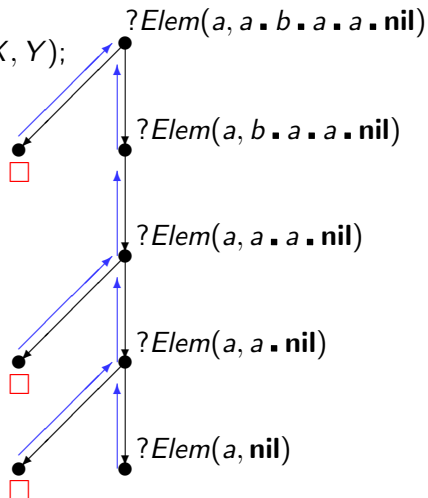
$Elem(X, Z \cdot Y) \leftarrow Elem(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

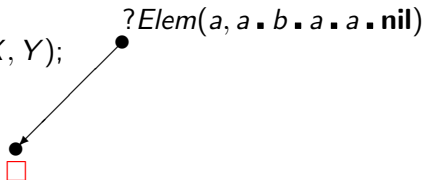
$\mathcal{P} : Elem(X, X \cdot Y) \leftarrow;$

$Elem(X, Z \cdot Y) \leftarrow Elem(X, Y);$



УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

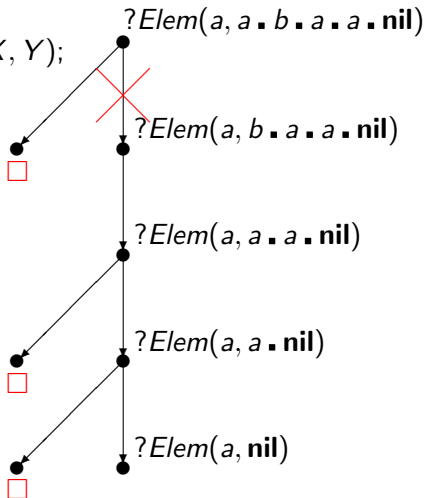
$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow;$
 $\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$



Но зачем нам обходить все дерево,
если для ответа YES достаточно
пройти по одной ветви?

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

$\mathcal{P} : \text{Elem}(X, X \cdot Y) \leftarrow ;$
 $\text{Elem}(X, Z \cdot Y) \leftarrow \text{Elem}(X, Y);$



Хотелось бы иметь способ
обрезать в дереве вычислений
ненужные ветви.

ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

Для этого в языках логического программирования вводится **оператор отсечения** (`cut`).

Этот оператор предстает собой 0-местный предикат `!`, оказывающий специальный побочный эффект.

С точки зрения декларативной семантики, предикат `!` имеет постоянное значение `true`. Для его описания не требуется никаких программных утверждений (`!` — встроенный предикат). Поэтому оператор отсечения может использоваться в запросах и в телах программных утверждений, не оказывая при этом никакого влияния на их логический смысл.

Однако операционная семантика оператора `!` определяется вне рамок SLD-резольтивного вывода. Оператор отсечения предназначен для выделения тех ветвей в дереве SLD-резольтивных вычислений, которые **не должны** проходиться по ходу вычисления запроса.

ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

Операционная семантика оператора отсечения **!** задается следующими правилами:

- ▶ Если запрос G и программное утверждение $D : A_0 \leftarrow A_1, \dots, \mathbf{!}, \dots, A_n$ порождают SLD-резольвенту G' , то в стеке вычислений программы запрос G получает специальную служебную пометку $(*$, индивидуальную для каждого вхождения оператора **!**;
- ▶ Если в запросе G оператор **!** активен, т. е. $G = ?\mathbf{!}, C_1, \dots, C_k$, то в стеке вычислений программы запрос G получает специальную служебную пометку $*$), индивидуальную для каждого вхождения оператора **!**, и при этом порождается новый запрос $G' = ?C_1, \dots, C_k$;
- ▶ Если по ходу вычисления **при откате** достигается элемент стека вычислений программы, помеченный $*$), то из стека удаляются все элементы, расположенные между элементами, помеченными $(*$ и $*$) (включая и сами эти элементы).

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y); \quad (1)$$

$$P(X, X) \leftarrow Q(X); \quad (2)$$

$$R(b) \leftarrow; \quad (3)$$

$$Q(c) \leftarrow; \quad (4)$$

$$Q(b) \leftarrow; \quad (5)$$

Протокол:

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$	
$\eta = \varepsilon; \quad count = 1$	

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	

Протокол:

SLD-резолюция

Появление оператора !

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 2$	

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	

Протокол:

SLD-резолюция

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	(*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 1$	

Протокол:

Активизация оператора !

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	(*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 1$	

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	(*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 2$	

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	(*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 3$	

Протокол:

Нет унификатора

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

SLD-резолюция

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 1$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 1$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 2$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Унификация

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 3$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

SLD-резолюция

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 3$	
\square $\eta = \{U/b, V/c\};$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Успех: $\eta = \{U/b, V/c\}$

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 3$	
\square $\eta = \{U/b, V/c\};$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Откат

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 3$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 4$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 3$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/c\}; \text{ count} = 5$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 4$	

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	

Протокол:

Унификация

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

SLD-резолюция

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 1$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 1$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 2$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Унификация

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 3$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

SLD-резолюция

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 3$	
\square $\eta = \{U/b, V/b\};$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа P :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Успех: $\eta = \{U/b, V/b\}$

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{count} = 3$	
\square $\eta = \{U/b, V/b\};$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Откат

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 3$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 4$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Протокол:

Нет унификатора

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	
$?R(b)$ $\eta = \{U/b, V/b\}; \text{ count} = 5$	

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)
$?Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\}; \text{ count} = 5$	

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	
$?!, Q(V), R(b)$ $\eta = \{U/b\};$	*)

Протокол:

Откат

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
$?R(U), !, Q(V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 4$	

Протокол:

Срабатывание оператора !

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

$?P(U, V), R(U)$ $\eta = \varepsilon; \text{ count} = 1$	(*)
---	-----

Протокол:

Срабатывание оператора !

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y); \quad (1)$$

$$P(X, X) \leftarrow Q(X); \quad (2)$$

$$R(b) \leftarrow; \quad (3)$$

$$Q(c) \leftarrow; \quad (4)$$

$$Q(b) \leftarrow; \quad (5)$$

Протокол:

Срабатывание оператора !

УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ

Пример вычисления логических программ с оператором отсечения

Запрос: $?P(U, V), R(U)$

Программа \mathcal{P} :

$$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y); \quad (1)$$

$$P(X, X) \leftarrow Q(X); \quad (2)$$

$$R(b) \leftarrow; \quad (3)$$

$$Q(c) \leftarrow; \quad (4)$$

$$Q(b) \leftarrow; \quad (5)$$

Протокол:

Конец вычислений

Дерево SLD-резолютивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

$$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y); \quad (1)$$

$$P(X, X) \leftarrow Q(X); \quad (2)$$

$$R(b) \leftarrow; \quad (3)$$

$$Q(c) \leftarrow; \quad (4)$$

$$Q(b) \leftarrow; \quad (5)$$

• $?P(U, V), R(U)$

Дерево SLD-резольютивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

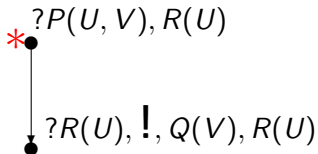
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резольтивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

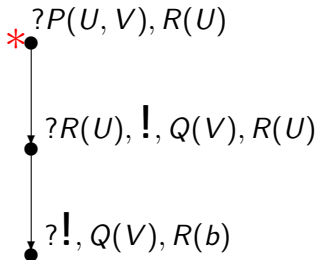
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резолютивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

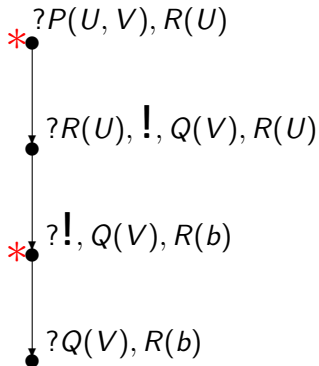
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резолутивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

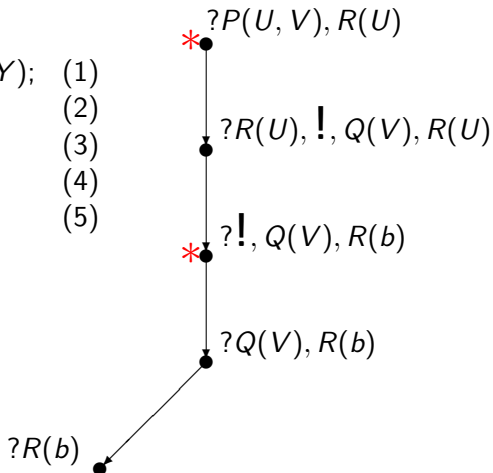
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резолутивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

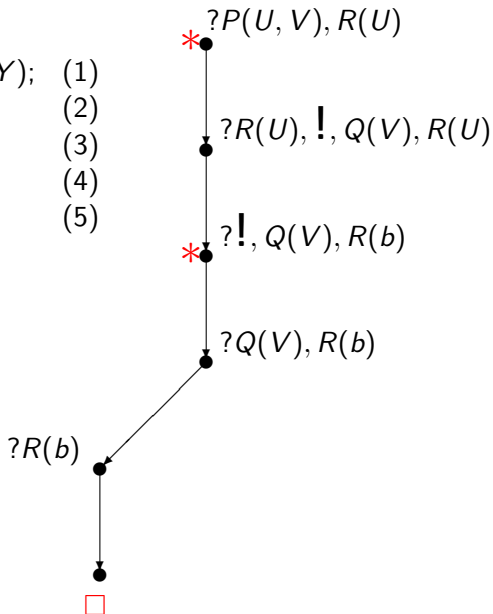
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резолутивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

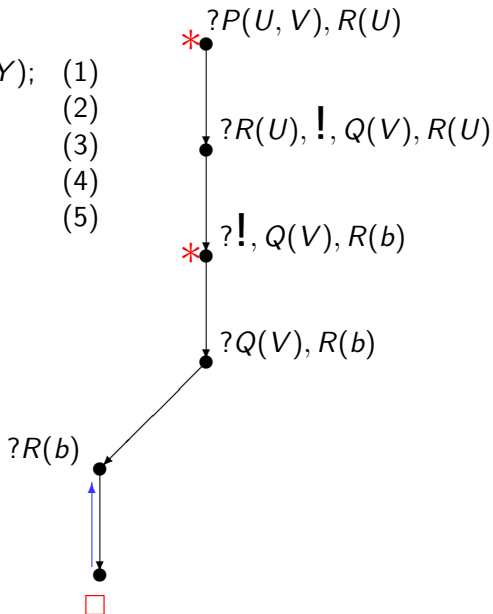
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резолутивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

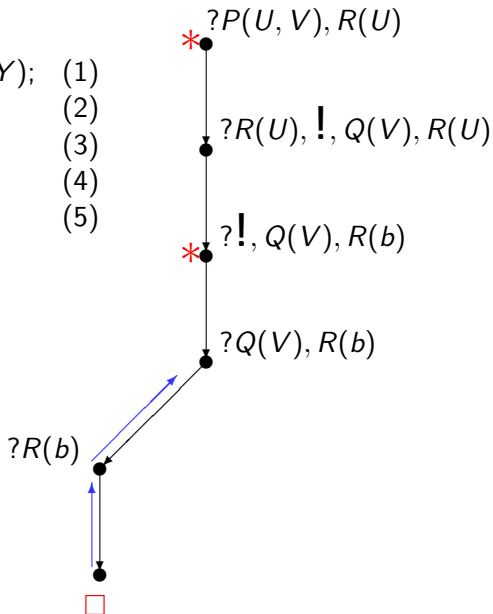
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резольтивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

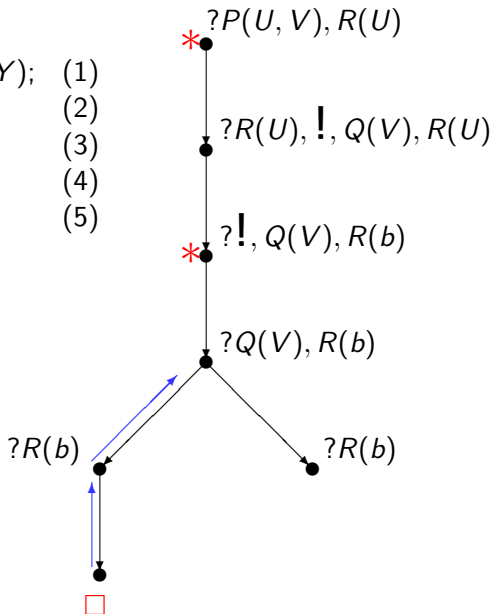
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резольтивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

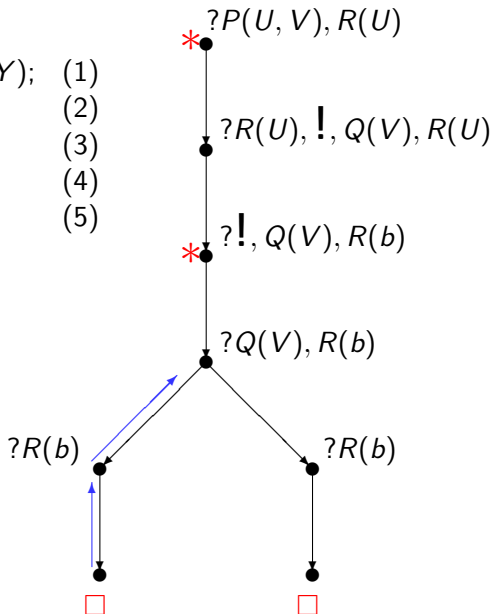
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резольтивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

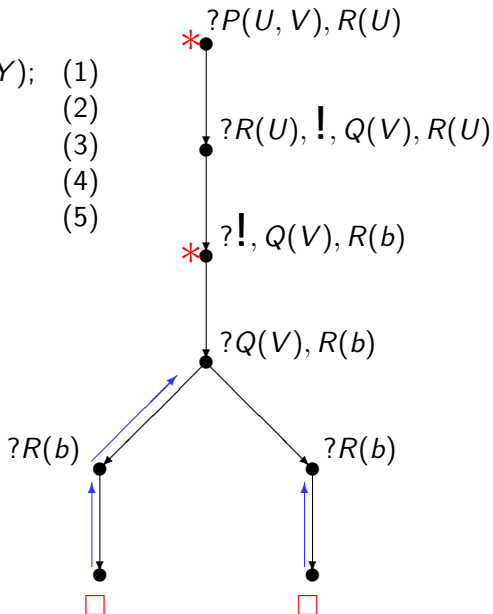
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резольтивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

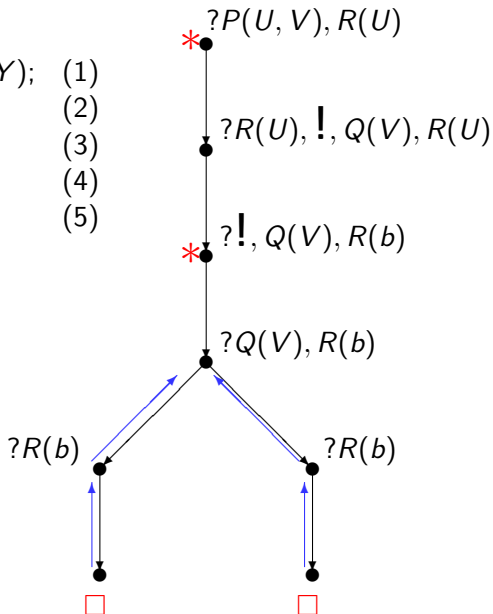
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резольтивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

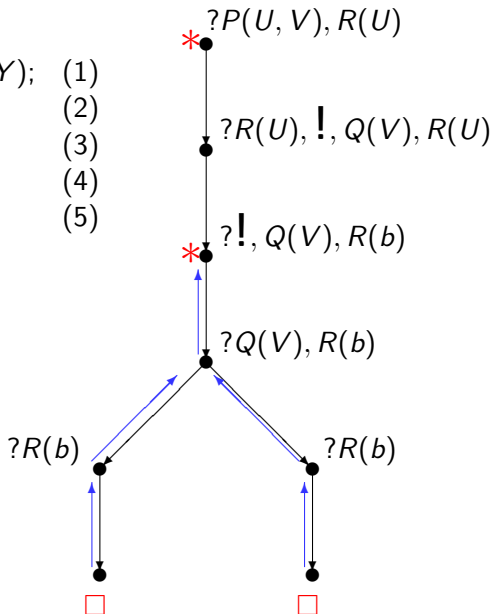
$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)



Дерево SLD-резольютивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

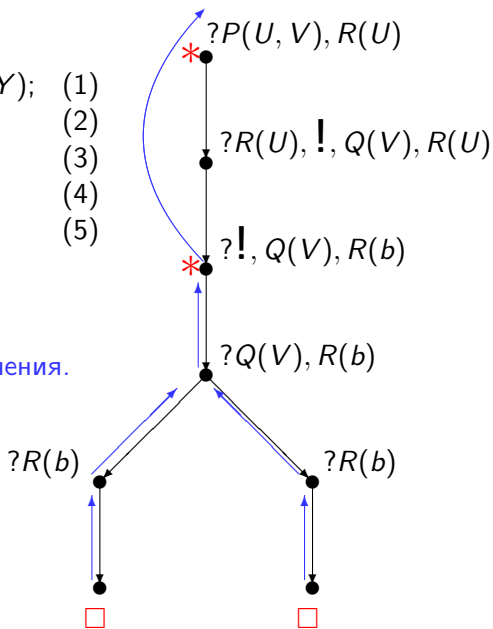
$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

Сработал оператор отсечения.

Построение дерева

вычислений завершено.



Дерево SLD-резольютивных вычислений

Программа \mathcal{P} :

$P(X, Y) \leftarrow R(X), !, Q(Y);$ (1)

$P(X, X) \leftarrow Q(X);$ (2)

$R(b) \leftarrow;$ (3)

$Q(c) \leftarrow;$ (4)

$Q(b) \leftarrow;$ (5)

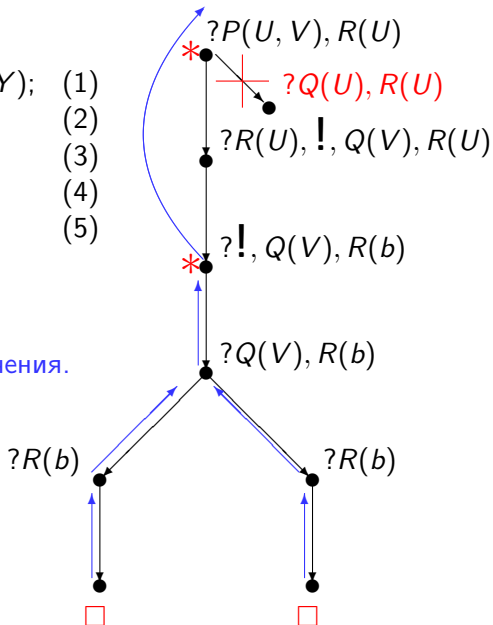
Сработал оператор отсечения.

Построение дерева

вычислений завершено.

При этом часть ветвей

была отсечена.



ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

Программное утверждение

$$A_0 \leftarrow A_1, \dots, A_k, !, A_{k+1}, \dots, A_n;$$

содержащее оператор отсечения можно прочитывать двояко:

- ▶ Чтобы решить задачу A_0 нужно найти **только первое** решение задач A_1, \dots, A_k и далее решать задачи A_{k+1}, \dots, A_n . Если решение задач A_1, \dots, A_k найти не удастся, то воспользоваться альтернативными процедурами решения задачи A_0 .
- ▶ Чтобы решить задачу A_0 нужно проверить условия A_1, \dots, A_k . Если эти условия выполнены, то приступить к решению задач A_{k+1}, \dots, A_n и не обращаться к другим вариантам решения задачи A_0 . Если же эти условия не выполнены, то обратиться к альтернативным способам решения задачи A_0 .

ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

Таким образом, оператор отсечения позволяет удобно использовать в логическом программировании стандартные конструкции императивного программирования.

► **Ветвление.** S_0 : if P then S_1 else S_2 fi

$$\mathcal{P}_{if-then-else} : S_0 \leftarrow P, !, S_1;$$
$$S_0 \leftarrow S_2;$$

► **Итерация.** S_0 : while P do S_1 od

$$\mathcal{P}_{while-do} : S_0 \leftarrow P, !, S_1, S_0;$$
$$S_0 \leftarrow ;$$

ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

С введением в логические программы оператора отсечения **теорема полноты** операционной семантики относительно декларативной семантики перестают быть справедливыми.

ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

Программы \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 вычисления гласных букв

\mathcal{P}_1

```
Elem_Vow(X, X ■ Y) ← Vowel(X);  
Elem_Vow(X, Z ■ Y) ← Elem_Vow(X, Y);  
Vowel(a) ←;  
Vowel(e) ←;  
Vowel(i) ←;  
Vowel(o) ←;  
Vowel(u) ←;  
Vowel(y) ←;
```

\mathcal{P}_2

```
Elem_Vow(X, X ■ Y) ← Vowel(X), !;  
Elem_Vow(X, Z ■ Y) ← Elem_Vow(X, Y);  
Vowel(a) ←;  
Vowel(e) ←;  
Vowel(i) ←;  
Vowel(o) ←;  
Vowel(u) ←;  
Vowel(y) ←;
```

равносильны в **декларативной семантике**, и запрос

$G : ?Elem_Vow(X, o \cdot n \cdot e \cdot nil)$

для обеих программ имеет два правильных ответа $\theta_1 = \{X/o\}$
и $\theta_2 = \{X/e\}$.

ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

Программы \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 вычисления гласных букв

\mathcal{P}_1

```
Elem_Vow(X, X ■ Y) ← Vowel(X);  
Elem_Vow(X, Z ■ Y) ← Elem_Vow(X, Y);  
Vowel(a) ←;  
Vowel(e) ←;  
Vowel(i) ←;  
Vowel(o) ←;  
Vowel(u) ←;  
Vowel(y) ←;
```

\mathcal{P}_2

```
Elem_Vow(X, X ■ Y) ← Vowel(X), !;  
Elem_Vow(X, Z ■ Y) ← Elem_Vow(X, Y);  
Vowel(a) ←;  
Vowel(e) ←;  
Vowel(i) ←;  
Vowel(o) ←;  
Vowel(u) ←;  
Vowel(y) ←;
```

но неравносильны в **операционной семантике** : запрос

$G : ?Elem_Vow(X, o \cdot n \cdot e \cdot nil)$

к \mathcal{P}_1 вычисляет $\theta_1 = \{X/o\}$ и $\theta_2 = \{X/e\}$,

а тот же запрос к \mathcal{P}_2 вычисляет только $\theta_1 = \{X/o\}$.

ОПЕРАТОР ОТСЕЧЕНИЯ

С введением в логические программы оператора отсечения **теорема полноты** операционной семантики относительно декларативной семантики перестает быть справедливыми.

Поэтому оператором отсечения **!** нужно пользоваться очень осторожно.

А что еще полезного и удобного
можно встроить в логические программы?

КОНЕЦ ЛЕКЦИИ 16.