

# Методы трансляции

Михайлов Максим

2 сентября 2021 г.

## Оглавление

Лекция 1	2 сентября	2
1	Введение . . . . .	2
2	Нисходящие парсеры . . . . .	3

# Лекция 1

## 2 сентября

### 1 Введение

Этот курс — про парсеры. Рассмотрим их работу в общем случае.

1. На вход подается строка.
2. Строка разбивается на неделимые блоки (*лексемы или токены*) лексическим анализом.
3. Последовательность токенов с учетом синтаксиса языка переводится в дерево разбора путем синтаксического разбора (*парсинга*).
4. Дерево разбора не есть самоцель, дерево переводится с учетом семантики языка в искомый результат.

Адепты *architecture-driven* подхода могут захотеть разделить семантику и синтаксис, однако это проблематично. Рассмотрим арифметические выражения как пример.

Токены арифметических выражений это  $+$ ,  $\cdot$ ,  $($ ,  $)$ ,  $n$ , где  $n$  — число. Синтаксис задается следующей контекстно-свободной грамматикой:

- $E \rightarrow n$
- $E \rightarrow (E)$
- $E \rightarrow E + E$
- $E \rightarrow E \cdot E$

Однако, эта грамматика не однозначна, и выражение  $2 + 2 \cdot 2$  можно разобрать по-разному, из-за чего невозможно навесить семантику. Таким образом, синтаксис нужно задавать с учетом семантики:

- $E \rightarrow T$

- $E \rightarrow T + E$
- $T \rightarrow F$
- $T \rightarrow F \cdot T$
- $F \rightarrow n$
- $F \rightarrow (E)$

Но с такой грамматикой операции правоассоциативные и семантику не получится навесить с добавлением вычитания. В правильной грамматике нужно переставить местами аргументы второго правила.

Рассмотрим, как мы будем писать калькулятор арифметических выражений по дереву разбора. Наивный подход — обойти дерево DFS-ом и рассматривать детей вершины, в которой мы находимся. Однако, таким образом информация о синтаксисе описывается в двух сущностях — в парсере и в калькуляторе. Это неудобно, поэтому часто парсинг и вычисления комбинируются в один шаг без построения дерева разбора. На примере арифметических выражений:

- $E_0.val = T.val$
- $E_0.val = E_1.val + T.val$
- $E_0.val = E_1.val - T.val$
- $\vdots$

Такой подход называется **синтаксически управляемая трансляция**.

Итого существуют четыре подхода дизайну систем парсинга в зависимости от сложности задачи:

1. Ad hoc: без теории, наивно.
2. Parser + walker: Парсер производит дерево разбора и walker его обходит.
3. Синтаксически управляемая трансляция.
4. Декомпозиция задач.

Этот курс рассматривает второй и третий подходы.

## 2 Нисходящие парсеры

Рассмотрим пример калькулятора арифметических выражений:

```
int expr():  
    r = term()  
    nexttoken()
```

```
while token == '+':
    nexttoken()
    t = term()
    r += t

int term():
    r = factor()
    nexttoken()
    while token == '*':
        nexttoken()
        f = factor()
        r += f

int factor():
    if token == '(':
        nexttoken()
        r = expr()
        assert token == ')'
        nexttoken()
    else # token = 'n'
        r = tokenval()
        nexttoken()
```

Какая связь между этим кодом и грамматикой арифметических выражений? Оказывается, весьма близкая и код можно получить из нее.

**Определение** (контекстно-свободная грамматика).

- Алфавит  $\Sigma$  — множество токенов
- Нетерминалы  $N$
- Стартовый нетерминал  $S \in N$
- Правила  $P \subset N \times (N \cup \Sigma)^*$

**Определение.**  $\langle A, \alpha \rangle \in P \Leftrightarrow A \rightarrow \alpha$

**Определение.**  $\alpha \Rightarrow \beta$  — из  $\alpha$  выводится за один шаг  $\beta$ , если:

- $\alpha = \alpha_1 A \alpha_2$
- $\beta = \alpha_1 \xi \alpha_2$
- $A \rightarrow \xi \in P$

**Определение** (язык грамматики).  $L(\Gamma) = \{x \mid S \Rightarrow^* x\}, x \in \Sigma^*$ , где  $\Rightarrow^*$  есть замыкание отношения  $\Rightarrow$ .

**Определение.** Грамматика **однозначна**, если для любого слова из языка есть только одно дерево разбора и **неоднозначна** иначе.

*Примечание.* Здесь и далее буквы из конца латинского алфавита обозначают нетерминалы, а буквы греческого алфавита — строки из терминалов и/или нетерминалов.

**Определение.**  $\Gamma \in LL(1)$ , если из выполнения следующих двух условий:

- $S \Rightarrow^* xA\alpha \Rightarrow x\xi\alpha \Rightarrow^* xcy$
- $S \Rightarrow^* xA\beta \Rightarrow x\eta\beta \Rightarrow^* xcz$

следует  $c \in \Sigma$ , или  $c = \varepsilon$ , или  $y = \varepsilon$ , или  $z = \varepsilon$ , тогда  $\xi = \eta$ .

**Определение.**  $\Gamma \in LL(k)$ , если из выполнения следующих двух условий:

- $S \Rightarrow^* xA\alpha \Rightarrow x\xi\alpha \Rightarrow^* xcy$
- $S \Rightarrow^* xA\beta \Rightarrow x\eta\beta \Rightarrow^* xcz$

следует  $c \in \Sigma^k$ , или  $c \in \Sigma^{\leq k}$ , или  $y = \varepsilon$ , или  $z = \varepsilon$ , тогда  $\xi = \eta$ .

В частности,  $LL(0)$  — линейные программы.

$LL(1)$  грамматики есть класс всех грамматик, которые можно разобрать рекурсивным спуском.

Определение  $LL(1)$  грамматик не конструктивно, т.к. проверка определения может длиться бесконечно (*по количеству всех выводов*). Определим конструктивный критерий принадлежности  $LL(1)$ , для этого мы рассмотрим две вспомогательные функции:

- FIRST:  $(N \cup \Sigma)^* \rightarrow 2^{\Sigma \cup \{\varepsilon\}}$
- FOLLOW:  $N \rightarrow 2^{\Sigma \cup \{\$ \}}$

$$\text{FIRST}(\alpha) := \{c \mid \alpha \Rightarrow^* c\beta\} \cup \{\varepsilon \mid \alpha \Rightarrow^* \varepsilon\}$$

$$\text{FOLLOW}(A) := \{c \mid S \Rightarrow^* \alpha A c \beta\} \cup \{\$ \mid S \Rightarrow^* \alpha A\}$$

*Примечание.* Мы считаем, что в грамматике нет нетерминалов, из которых нельзя вывести строку из терминалов. Это допущение не теряет общности, т.к. существует алгоритм удаления “бесполезных” нетерминалов, см. курс дискретной математики.

**Теорема 1.**  $\Gamma \in LL(1) \Leftrightarrow A \rightarrow \alpha, A \rightarrow \beta$ :

1.  $\text{FIRST}(\alpha) \cap \text{FIRST}(\beta) = \emptyset$
2.  $\varepsilon \in \text{FIRST}(\alpha) \Rightarrow \text{FIRST}(\beta) \cap \text{FOLLOW}(A) = \emptyset$