



РАС-2017



Оstar: синтаксическое расширение OCaml для создания парсер-комбинаторов с поддержкой левой рекурсии

Автор: Екатерина Вербицкая

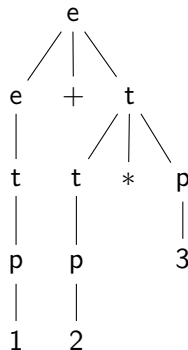
Санкт-Петербургский государственный университет
Лаборатория языковых инструментов JetBrains

05 апреля 2017

Сопоставление последовательности лексем с грамматикой языка

$1 + 2 * 3$

$$\begin{aligned} e &: e + t \mid t \\ t &: t * p \mid p \\ p &: 0 \mid 1 \mid 2 \mid \dots \mid 9 \end{aligned}$$



- Подход к реализации синтаксического анализа в парадигме функционального программирования
- Реализуют нисходящий разбор
- Синтаксический анализатор: функция высшего порядка
- Позволяет считать семантику “на лету”, без явного построения деревьев разбора
- Анализатор произвольной сложности можно получить путем комбинирования нескольких простых базовых парсеров
- Позволяют разбирать некоторые контекстно-зависимые языки

Тип парсеров

```
type  $\alpha$  tag = Parsed of  $\alpha$  | Failed  
type  $(\sigma, \rho)$  result =  $(\rho * \sigma)$  tag  
and  $(\sigma, \rho)$  parse =  $\sigma \rightarrow (\sigma, \rho)$  result
```

Базовые парсер-комбинаторы

```
let empty s = Parsed ((), s)
```

```
let fail  s = Failed
```

```
let return x s = Parsed (x, s)
```

Комбинатор последовательности

```
let seq x y s =  
  match x s with  
  | Parsed (b, s') → y b s'  
  | Failed → Failed  
  
let (|>) = seq
```

Комбинатор альтернативы

```
let alt x y s =  
  match x s with  
  | Failed  $\rightarrow$  y s  
  | x  $\rightarrow$  x  
  
let (<|>) = alt
```

Пример парсера для языка $\{a^n \mid n \geq 0\}$

```
(* A : epsilon / 'a' A *)  
let rec a s = empty <|> (terminal 'a' |> fun _ → a) s
```


Семантические действия

```
let map f p s =  
  match p s with  
  | Parsed (b, s') → Parsed (f b, s')  
  | x → x
```

Вспомогательные парсер-комбинаторы

```
let opt p = map (fun x → Some x) p <|> return None
```

```
let rec many p =  
  p |> (fun h → map (fun t → h :: t) (many p)) <|>  
  return []
```

```
let a = many (terminal 'a')
```

Синтаксическое расширение

```
ostap (  
  e : x:e "+" y:t {Add (x, y)}  
    | t;  
  t : x:t "*" y:p {Mul (x, y)}  
    | p;  
  p : (* parse integer *)  
)
```

Парсеры высшего порядка: переиспользование кода

```
ostap (  
  e : x:e "+" y:t {Add (x, y)}  
    | t;  
  t : x:t "*" y:p {Mul (x, y)}  
    | p;  
  p : (* parse integer *)  
)
```

```
ostap (  
  e : x:e "+" y:t {Add (x, y)}  
    | t;  
  t : x:t "*" y:p {Mul (x, y)}  
    | p;  
  p : (* parse double *)  
)
```

Парсеры высшего порядка

```
ostap (  
  e[p] : x:e[p] "+" y:t[p] {Add (x, y)}  
        | t[p];  
  t[p] : x:t[p] "*" y:p      {Mul (x, y)}  
        | p;  
)
```

```
ostap (  
  e_integer: e[(* parse integer *)]  
)
```

```
ostap (  
  e_double : e[(* parse double *)]  
)
```

Парсер-комбинаторы и левая рекурсия

Являясь реализацией нисходящего анализа, парсер-комбинаторы не способны обрабатывать леворекурсивные правила

```
ostap (  
  e[p] : e[p] "+" t[p] (* to apply e, *)  
        | t[p];          (* one needs to apply e... *)  
  t[p] : t[p] "*" p  
        | p;  
)
```

Удаление левой рекурсии значительно усложняет спецификацию языка и ухудшает композициональность анализаторов

Поддержка леворекурсивных анализаторов

- Ограничение количества леворекурсивных вызовов длиной непрочитанной строки
 - ▶ Frost R. A., Hafiz R., Callaghan P. Parser combinators for ambiguous leftrecursive grammars
- Использование мемоизации для обеспечения завершаемости
 - ▶ Warth A., Douglass J. R., Millstein T. D. Packrat parsers can support left recursion
- Требуют, чтобы парсер был первого порядка
- Использование техники CPS для обеспечения завершаемости
 - ▶ Izmaylova A., Afroozeh A., Tijs van der Storm. Practical, general parser combinators
- Фиксируют конкретную семантику

Поддержка левой рекурсии в PEG

- Medeiros S., Mascarenhas F., Ierusalimschy R. Left Recursion in Parsing Expression Grammars
- Динамический поиск наилучшего количества леворекурсивных вызовов
- Использует мемоизацию
- Поддерживает явную, неявную, взаимную рекурсию
- Требуют, чтобы парсер был первого порядка

Поддержка левой рекурсии в Ostap

- Используется идея Medeiros et al
- Специальный комбинатор `fix` для поддержки леворекурсивных парсеров высшего порядка

```
ostap (  
  e[p] : e[p] "+" e[p] | p  
)
```

```
ostap (  
  let e p s = fix (fun e → ostap (e "+" e | p)) s  
)
```

Комбинатор *fix*

```
let fix p s =  
  let x' = ref None in  
  let rec fix p s = p (fix p) s in  
  let help cur prev =  
    match cur, prev with  
    | Failed, _ → prev  
    | Parsed (_,s), Parsed (_,s') when s#pos < s'#pos → prev  
    | _, _ → cur  
  in  
  let p x s =  
    match !x' with  
    | None → x' := Some (fun s → memo x s); help (p x s) (x s)  
    | Some x → help (p x s) (x s)  
  in  
  fix p s
```

- Представлена библиотека парсер-комбинаторов и синтаксическое расширение для языка OCaml
- Реализована поддержка леворекурсивных спецификаций синтаксических анализаторов
 - ▶ Позволяет использование парсеров высшего порядка
 - ▶ Сложность растет экспоненциально в зависимости от глубины вложенности рекурсии