Linguagens e Ambientes de Programação (2018/2019)

Teórica 02 (11/mar/2019)

Paradigma de programação funcional
Elementos essenciais da linguagem OCaml.
Avaliação de expressões em OCaml.
Tipos em OCaml. Tipos básicos e tipos estruturados. Inferência de tipos. Funções monomórficas e funções polimórficas. Não há sobreposição.
Listas. Construtores de listas. Emparelhamento de padrões. Exemplos.

Numa das próximas aulas teóricas (provavelmente na teórica 7) iremos discutir a noção de **paradigma de programação** em geral e identificar os conceitos de base de alguns paradigmas concretos como o paradigma imperativo e o paradigma orientado pelos objetos.

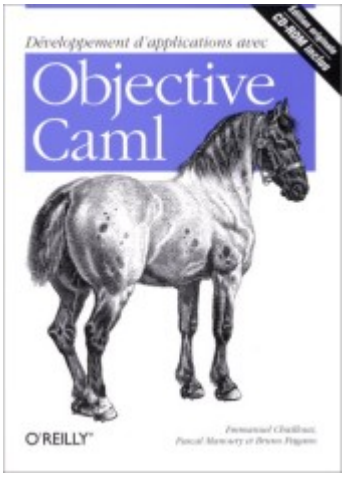
Para já, eis as características essenciais do...

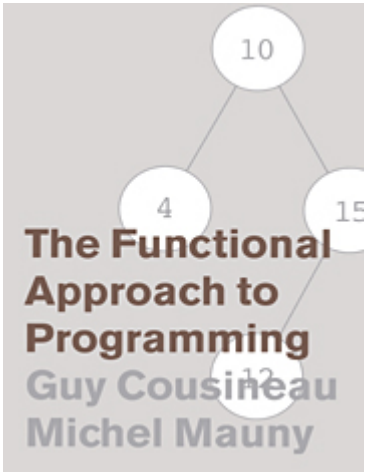
Paradigma de programação funcional

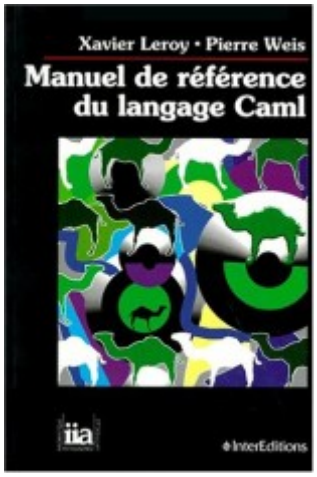
- Os conceitos essenciais deste paradigma, usados para pensar e escrever os programas, são três: **função**, **aplicação**, **avaliação de expressões**.
- Uma **função** é uma entidade que sabe produzir um resultado a partir dos seus argumentos.
- A **computação** consiste na avaliação de expressões onde podem ocorrer aplicações de funções a argumentos. O processo de avaliação envolve múltiplos passos de simplificação chamados **reduções**. A avaliação termina quando se chega a uma expressão que não pode ser mais simplificada (essa expressão chama-se "resultado").
- Neste paradigma não existe a noção de "estado", ou seja não existem "variáveis mutáveis" nem "atribuição". Também não existem ciclos ("iteração"), sendo a recursividade a única forma de obter repetição.
- Também não está prevista, por não ser necessária, uma noção de "sequenciação". Ou seja, o paradigma não define por que ordem deve ser executado um programa. O resultado dum programa que termine é sempre o mesmo, independentemente da ordem de execução.

Um pouco mais abaixo, poderá observar alguns exemplos de avaliação de expressões, no contexto da linguagem OCaml.

Linguagem OCaml







Xavier Leroy

Didier Rémy

Damien Doligez

Jérôme Vouillon

Algumas características

- O OCaml foi desenvolvido no INRIA, a partir de 1991, por Xavier Leroy e Damien Doligez, a que se juntaram Jérôme Vouillon, Didier Rémy e outros em 1996.
- A linguagem OCaml é uma das muitas linguagens que derivam da linguagem ML. [O ML começou por ser a metalinguagem do demonstrador de teoremas LCF, desenvolvido no final dos anos 70 por Robin Milner e outros na University of Edinburgh. Mas o ML evoluiu para passar a ser usado como linguagem de programação"normal". Eis alguns dialetos da linguagem ML: Standard ML, Caml, OCaml, Alice, F#.]
- O OCaml é uma linguagem onde se unificam os paradigmas funcional, imperativo e orientado pelos objetos. Na nossa cadeira estamos interessados em estudar apenas o fragmento funcional puro da linguagem.
- Tem um sistema de tipos estático com suporte para polimorfismo e inferência de tipos.
- As implementações de OCaml colocam um grande ênfase na velocidade de execução. A velocidade costuma ser superior à do C++ para programas orientados pelos objetos.
- Tipos básicos: caracteres, inteiros, reais, booleanos.
- Tipos derivados: funções, listas, tuplos, registos, tipos soma.
- Tem gestão automática de memória (como o Java, mas não o C).
- Suporte para modularidade e compilação separada.
- Existe uma biblioteca padrão.

- A linguagem não tem nenhum normalização oficial, mas a implementação do INRIA funciona como padrão *de facto*.
- Usos na industria: aqui.

Porque vamos trabalhar com a linguagem OCaml?

Na nossa cadeira, vamos trabalhar com a parte funcional da linguagem OCaml por diversas razões. Eis as principais:

- Ganhar a experiência de usar um novo paradigma de programação (o **paradigma funcional**) e assim ampliar horizontes e a imaginação.
- Tomar contacto com uma linguagem cujo sistema de tipos é completamente estático e que suporta inferência de tipos.
- Ganhar a experiência de usar uma linguagem que disponibiliza um interpretador, além dum compilador.
- Tomar contacto com o sistema de módulos do OCaml, que é sofisticado e exemplar.

Elementos essenciais da linguagem OCaml

- O OCaml é uma linguagem multiparadigma, mas **nesta cadeira vamos usar apenas a sua componente funcional**, para aprender o estilo de programação funcional, sem distrações.
- Um programa é uma sequência de funções. As funções podem ser recursivas.
- São dois os principais mecanismos que podem ser usados na escrita do corpo das funções em OCaml:
  - **APLICAÇÃO** (aplicação duma função a argumentos). Ex: `sqrt 9`
  - **IF-THEN-ELSE**. Ex: `if prime x then x else x/2`

Exemplo de função recursiva que usa os dois mecanismos:

```
let rec fact x =
    if x = 0 then 1 else x * fact (x-1)
;;
```

Para já é tudo! Você já ficou a conhecer o núcleo da linguagem!

Avaliação de expressões em OCaml

A ideia de **avaliação** está no centro do processo de execução de programas funcionais. Merece pois a nossa melhor atenção.

Em OCaml as expressões são avaliadas usando uma estratégia chamada *call-by-value*: uma funções só é aplicada aos seus argumentos depois de eles terem sido avaliados (ou, mais simplesmente, uma função só pode ser aplicada a valores). Esta é a estratégia usada na maioria das linguagens incluindo: Java, C, C++, Pascal, etc.

Exemplo de avaliação que termina e usa três reduções:

```
(fun x -> x+1)(2+3)
= (fun x -> x+1)5
= 5+1
= 6
```

Exemplo de avaliação que não termina:

Considere a função `loop`.

```
let rec loop x = loop x ;;
```

Avaliação:

```
(fun x -> 5)(loop 3)
= (fun x -> 5)(loop 3)
= (fun x -> 5)(loop 3)
= (fun x -> 5)(loop 3)
= ...  não termina
```

Agora, mais uma avaliação que termina. Considere a função `fact`, assim definida:

```
let rec fact x =
    if x = 0 then 1 else x * fact (x-1)
;;
```

Avaliação com 7 reduções:

```
fact 3 =
= 3 * fact 2
= 3 * (2 * fact 1)
= 3 * (2 * (1 * fact 0))
= 3 * (2 * (1 * 1))
= 3 * (2 * 1)
= 3 * 2
= 6
```

Tipos em OCaml

Um **tipo** representa uma coleção de valores e tem associados um conjunto de **literais** e um conjunto de **operações**. Recordemos que um literal é uma expressão que não precisa de ser avaliada e denota um valor particular.

Para descrever um tipo precisamos pois de dizer quais são os valores, os literais e as operações.

Tipos básicos do OCaml

TIPO	LITERAIS	OPERAÇÕES MAIS USADAS
int	5 -456	+ - * / mod min_int max_int int_of_float
float	3.14e-21	+. -. *. /. sqrt exp log sin ceil floor float_of_int
string	"" "ola"	^ String.length String.sub String.get
bool	false true	not || &&
char	'a' '$'	int_of_char char_of_int
unit	()	ignore

Tipos compostos do OCaml

TIPO	LITERAIS	OPERAÇÕES MAIS USADAS
'a->'b	(fun x -> x+1)	aplicação
'a*'b	(5, 5.6)	fst snd *emparelhamento de padrões*
'a list	[] [3;5;7]	*emparelhamento de padrões*
tipos produto	*diversos*	*. emparelhamento de padrões*
tipos soma	*diversos*	*emparelhamento de padrões*

Inferência de tipos

O tipo dos argumentos e do resultado das funções não se declaram em OCaml. A implementação faz **inferência de tipos**: ela infere para cada função o tipo mais geral que é possível atribuir a essa função.

Qual o tipo das seguintes funções anónimas?

```
fun x -> x+1                    : int -> int
fun x -> x +. 1.0               : float -> float
fun x -> x ^ x                  : string -> string
fun (x,y) -> x + y              : (int * int) -> int
fun (x,y) -> (y,x)              : ('a*'b) -> ('b*'a)
fun x y -> (x,y)                : 'a -> 'b -> ('a*'b)
fun x y z -> (x,y,z)            : 'a -> 'b -> 'c -> ('a*'b*'c)
```

As quatro primeiras funções dizem-se **monomórficas** porque só aceitam argumentos de tipos fixos.
A duas últimas funções dizem-se **polimórficas** pois aceitam argumentos de tipos diversos.
De todas estas funções, as duas últimas são as únicas que aceitam mais do que um argumento.
O tipo duma função com n argumentos tem sempre n setas no nível exterior. A explicação disto será estudada mais tarde.

No caso duma função pouco complicada, o programador de OCaml deverá saber olhar para ela e deduzir o seu tipo. O primeiro exercício da prática 2 é dedicado a este assunto.

Não há sobreposição (overloading)

A linguagem OCaml não suporta sobreposição (overloading) de nomes ou operadores. Sobreposição é incompatível com inferência de tipos.

Por exemplo, em OCaml o seguinte operador denota apenas a soma inteira

```
+
```

e o seguinte operador denota apenas a soma real

```
+.
```

Para contraste, as linguagens C, C++ e Java suportam sobreposição. Por exemplo, em Java o operador "+" denota três operações distintas: soma de inteiros, soma de reais, concatenação de strings.

Operadores

Para alguns dos operadores mais usados em OCaml, eis uma tabela de correspondência entre o OCaml e o Java:

OCaml	Java
&&	&&
||	||
not	!
mod	%
=	==
<>	!=
+	+

```
+.        +
^         +
-         -
-.        -
```

As regras de precedência dos operadores são semelhantes às do Java. Por exemplo, o "*" tem precedência sobre o "+".

Nas chamadas de função, tais como `f x`, os nomes da funções têm a máxima precedência. Por isso, por exemplo, a expressão `f x + g x` não precisa de parêntesis.

Comentários

```
(* Like this *)
```

Listas homogéneas em OCaml

O tipo **lista**, é um tipo estruturado muito usado em OCaml. Na 2ª aula prática vamos começar já a resolver problemas com listas.

Apresentam-se aqui os três elementos essenciais das listas em OCaml:

- como se escrevem listas literais;
- como se constroem novas listas a partir de listas mais simples;
- como se analisam listas e se extraem os seus elementos constituintes.

Listas literais

Exemplos de listas literais:

```
[]                                 : 'a list
[2;4;8;5;0;9]                      : int list
["ola"; "ole"]                      : string list
[[1;2]; [4;5]]                     : int list list
[(fun x -> x+1); (fun x -> x*x)]   : (int->int) list
```

Construtores de listas

Estão disponíveis dois construtores de listas que, como o nome indica, servem para construir listas novas:

```
[] : 'a list
:: : 'a -> 'a list -> 'a list
```

- O construtor `[]` chama-se "lista vazia" e representa a lista vazia.
- O construtor `::` chama-se "cons" e serve para construir listas não vazias.

O operador :: é associativo à direita.

Exemplos de utilização de `cons`:

```
2::[3;4;5] = [2;3;4;5]
1::2::3::[] = [1;2;3]
[]::[] = [[]]
[1;2]::[3;4] = ERRO
4::5 = ERRO
[1;2]::[[3;4;5]] = [[1;2];[3;4;5]]
```

Processamento de listas usando emparelhamento de padrões

O processamento de listas efetuar-se por *análise de casos*, usando a construção **match** e *padrões*. Exemplo:

```
(* len : 'a list -> int *)

let rec len l =
    match l with
        [] -> 0
      | x::xs -> 1 + len xs
;;
```

A função anterior trata dois casos, cada um dos quais tem um padrão diferente associado. Os vários casos são analisados sequencialmente, de cima para baixo.

Mais um exemplo. A seguinte função aplica-se a uma lista de pares ordenados e troca entre si as componentes de cada par:

```
(* swapPairs : ('a * 'b) list -> ('b * 'a) list *)

let rec swapPairs l =
    match l with
      [] -> []
    | (x,y)::xs -> (y,x)::swapPairs xs
;;
```

Na próxima aula estudaremos um método sistemático que nos ajudará a escrever funções recursivas sobre listas.

Em todo o caso, o princípio presencial é o seguinte:

- A programação é feita, tentando deliberadamente fazer a redução do problema original a uma versão mais simples do mesmo problema, geralmente envolvendo a cauda da lista. Repare que isso foi feito nas duas funções anteriores.

#140