Programação Funcional
1ª Aula — Apresentação

Pedro Vasconcelos
DCC/FCUP

2013

Conteúdo e objetivos

- Introdução à programação funcional usando Haskell
- Objetivos de aprendizagem:
  1. definir funções usando *equações com padrões e guardas*;
  2. implementar *algoritmos recursivos elementares*;
  3. definir *tipos algébricos* para representar dados;
  4. decompor problemas usando *funções de ordem superior* e *lazy evaluation*;
  5. escrever programas interativos usando notação-*do*;
  6. provar propriedades de programas usando *teoria equacional* e *indução*.

Funcionamento

Aulas teóricas 2×1 h por semana

Aulas teórico-práticas 1 h por semana

Aulas práticas 2 h por semana

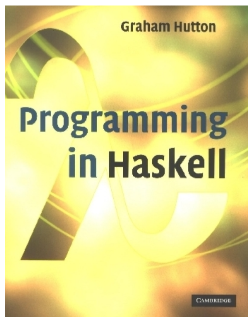
Página web `http://www.dcc.fc.up.pt/~pbv/aulas/pf` (slides de aulas e folhas de exercícios)

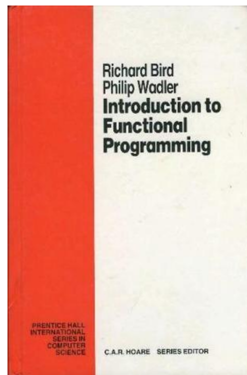
Avaliação
- dois testes de 1 h durante o semestre (dispensam exame);
- ou: exame final (testes sem efeito).

Frequência 3/4 das aulas práticas[1]

[1] Excepto trabalhadores estudantes.

Bibliografia recomendada





1. *Programming in Haskell*, Graham Hutton, Cambridge University Press, 2007.
2. *Introduction to Functional Programming*, Richard Bird & Philip Wadler, Prentice-Hall International, 1988.

Outros livros na *web*

- *Learn you a Haskell for great good!*
  `http://learnyouahaskell.com/`
- *Real World Haskell*
  `http://book.realworldhaskell.org/`

O que é a programação funcional?

- É um paradigma de programação
- No paradigma imperativo, um programa é uma sequência de instruções que mudam células na memória
- No paradigma funcional, um programa é um conjunto de definições de funções que aplicamos a valores
- Podemos programar num estilo funcional em muitas linguagens
- Linguagens funcionais suportam melhor o paradigma funcional
- Exemplos: Scheme, ML, O'Caml, Haskell, F#, Scala

Exemplo: somar os naturais de 1 a 10

Em linguagem C:

```
total = 0;
for (i=1; i<=10; ++i)
   total = total + i;
```

- O programa é uma *sequência de instruções*
- O resultado é obtido por *mutação* das variáveis `i` e `total`

Execução passo-a-passo

passo	instrução	i	total
1	`total=0`	?	0
2	`i=1`	1	0
3	`total=total+i`	1	1
4	`++i`	2	1
5	`total=total+i`	2	3
6	`++i`	3	3
7	`total=total+i`	3	6
8	`++i`	4	6
9	`total=total+i`	4	10
⋮	⋮	⋮	⋮
21	`total=total+i`	10	55
22	`++i`	11	55

Somar os naturais de 1 a 10

Em Haskell:

```
sum [1..10]
```

O programa é consiste na *aplicação* da função *sum* à *lista* dos inteiros entre 1 e 10.

Redução passo-a-passo

Redução da expressão original até obter um resultado que não pode ser mais simplificado.

$$
\begin{aligned}
& \text{sum } [1..10] = \\
= \; & \text{sum } [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10] = \\
= \; & 1+2+3+4+5+6+7+8+9+10 = \\
= \; & 3+4+5+6+7+8+9+10 = \\
= \; & 7+5+6+7+8+9+10 = \\
= \; & 12+6+7+8+9+10 = \\
& \vdots \\
= \; & 55
\end{aligned}
$$

Um exemplo maior: *Quicksort*

Em Java:

```
public class Quicksort {
  public static void qsort(double[] a) {
    qsort(a, 0, a.length - 1);
  }
  public static void qsort(double[] a,
                           int left, int right) {
      if (right <= left) return;
      int i = partition(a, left, right);
      qsort(a, left, i-1);
      qsort(a, i+1, right);
  }
  private void swap(double[] a, int i, int j) {
    double tmp = a[i]; a[j] = a[j]; a[i] = tmp;
  }
```

Um exemplo maior: *Quicksort* (cont.)

```
  private static int partition(double[] a,
                               int left, int right) {
      int i = left;
      int j;
      for(j=left+1; j<=right; ++j) {
          if(a[j] < a[left]) {
            ++i;
            swap(a, i, j);
          }
        }
      swap(a, i, left);
      return i;
  }
}
```

Um exemplo maior: *Quicksort* (cont.)

Em Haskell:

```
qsort [] = []
qsort (x:xs) = qsort xs1 ++ [x] ++ qsort xs2
      where xs1 = [x' | x'<-xs, x'<=x]
            xs2 = [x' | x'<-xs, x'>x]
```

Vantagens da programação funcional

Nível mais alto

- programas mais concisos
- próximos duma especificação matemática

Mais modularidade

- polimorfismo, ordem superior, *lazy evaluation*
- permitem decompor problemas em componentes re-utilizáveis

Vantagens da programação funcional (cont.)

Garantias de correção

- demonstrações de correção usando provas matemáticas
- maior facilidade em efetuar testes

Concorrencia/paralelismo

- a ordem de execução não afecta os resultados

Desvantagens da programação funcional

Maior distância do *hardware*

- compiladores/interpretadores mais complexos;
- difícil prever os custos de execução (tempo/espaço);
- alguns algoritmos são mais eficientes quando implementados de forma imperativa.

Um pouco de história

1930s Alonzo Church desenvolve o cálculo-λ, um formalismo matemático para exprimir computação usando funções

1950s Inspirado no cálculo-λ, John McCarthy desenvolve o LISP, uma das primeiras linguagens de programação

1970s Robin Milner desenvolve o ML, a primeira linguagem funcional com *polimorfismo* e *inferência de tipos*

1970s–1980s David Turner desenvolve várias linguagens que empregam lazy evaluation, culminando na linguagem comercial *Miranda*™

Um pouco de história (cont.)

1987 Um comité académico inicia o desenvolvimento do Haskell, uma linguagem funcional *lazy* padronizada e aberta

2003 Publicação do Haskell 98, uma definição padronizada da linguagem

2010 Publicação do padrão da linguagem Haskell 2010

Haskell

- Uma linguagem funcional pura de uso genérico
- Nomeada em homenagem ao matemático americano Haskell B. Curry (1900–1982)
- Concebida para ensino e também para o desenvolvimento de aplicações reais
- Resultado de mais de vinte anos de investigação por uma comunidade de base académica muito activa
- Implementações abertas e livremente disponíveis

`http://www.haskell.org`

Haskell no mundo real

Algumas exemplos *open-source*:

- **GHC** o compilador de Haskell é escrito em Haskell (!)
- **Xmonad** um gestor de janelas usando "tiling" automático
- **Darcs** um sistema distribuido para gestão de código-fonte
- **Pandoc** conversor entre formatos de "markup" de documentos

Haskell no mundo real (cont.)

Utilizações em *backend* de aplicações *web*:

Bump mover ficheiros entre *smartphones*
`http://devblog.bu.mp/haskell-at-bump`

Janrain plaforma de *user management*
`http://janrain.com/blog/functional-programming-social-web`

Chordify extração de acordes musicais
`http://chordify.net`

Mais exemplos:
`http://www.haskell.org/haskellwiki/Haskell_in_industry`

Hugs

- Um interpretador interativo de Haskell
- Suporta Haskell 98 e bastantes extensões
- Para aprendizagem e desenvolvimento de pequenos programas
- Disponível em `http://www.haskell.org/hugs`

Glasgow Haskell Compiler (GHC)

- Compilador que gera código-máquina nativo
- Suporta Haskell 98, Haskell 2010 e bastantes extensões
- Otimização de código, interfaces a outras linguagens, *profilling*, grande conjunto de bibliotecas, etc.
- Inclui também o interpretador `ghci` (alternativa ao Hugs)
- Disponível em `http://www.haskell.org/ghc`

Primeiros passos

Linux/Mac OS: executar o `hugs` ou `ghci`

Windows: executar o *WinHugs* ou ghci

```
$ ghci
GHCi, version 6.8.3: http://www.haskell.org/ghc/
Loading package base ... linking ... done.
Prelude>
```

Uso do interpretador

1. o interpretador lê uma *expressão* do teclado;
2. calcula o seu *valor*;
3. por fim imprime-o.

```
> 2+3*5
17

> (2+3)*5
25

> sqrt (3^2 + 4^2)
5.0
```

Alguns operadores e funções aritméticas

`+`	adição
`-`	subtração
`*`	multiplicação
`/`	divisão fracionária
`^`	potência (expoente inteiro)
`div`	quociente (divisão inteira)
`mod`	resto (divisão inteira)
`sqrt`	raiz quadrada
`==`	igualdade
`/=`	diferença
`<` `>` `<=` `>=`	comparações

Algumas convenções sintáticas

- Os argumentos de funções são separados por espaços
- A aplicação tem maior precendência do que qualquer operador

Haskell	Matemática
`f x`	$f(x)$
`f (g x)`	$f(g(x))$
`f (g x) (h x)`	$f(g(x), h(x))$
`f x y + 1`	$f(x, y) + 1$
`f x (y+1)`	$f(x, y + 1)$
`sqrt x + 1`	$\sqrt{x} + 1$
`sqrt (x + 1)`	$\sqrt{x + 1}$

Algumas convenções sintáticas (cont.)

- Um operador pode ser usando como uma função escrevendo-o entre parêntesis
- Reciprocamente: uma função pode ser usada como operador escrevendo-a entre aspas esquerdas

```
    (+) x y  =  x+y
    (*) y 2  =  y*2

    x`mod`2  =  mod x 2
f x `div` n  =  div (f x) n
```

O prelúdio-padrão (*standard Prelude*)

O módulo *Prelude* contém um grande conjunto de funções pré-definidas:

- os operadores e funções aritméticas;
- funções genéricas sobre *listas*

. . . e muitas outras.

O prelúdio-padrão é automaticamente carregado pelo interpretador/compilador e pode ser usado em qualquer programa Haskell.

Algumas funções do prelúdio

```
> head [1,2,3,4]
1
```
obter o 1º elemento

```
> tail [1,2,3,4]
[2,3,4]
```
remover o 1º elemento

```
> length [1,2,3,4,5]
5
```
comprimento

```
> take 3 [1,2,3,4,5]
[1,2,3]
```
obter um prefixo

```
> drop 3 [1,2,3,4,5]
[4,5]
```
remover um prefixo

Algumas funções do prelúdio (cont.)

```
> [1,2,3] ++ [4,5]
[1,2,3,4,5]
```
concatenar

```
> reverse [1,2,3,4,5]
[5,4,3,2,1]
```
inverter

```
> [1,2,3,4,5] !! 3
4
```
indexação

```
> sum [1,2,3,4,5]
15
```
soma dos elementos

```
> product [1,2,3,4,5]
120
```
produto dos elementos

Definir novas funções

- Vamos definir novas funções num ficheiro de texto
- Usamos um editor de texto externo (e.g. Emacs)
- O nome do ficheiro deve terminar em `.hs` (*Haskell script*)[2]

[2] Alternativa: `.lhs` (*literate Haskell script*)

Criar um ficheiro de definições

Usando o editor, criamos um novo ficheiro `test.hs`:

```
dobro x = x + x
quadruplo x = dobro (dobro x)
```

Usamos o comando *:load* para carregar estas definições no GHCi.

```
$ ghci
...
> :load teste.hs
[1 of 1] Compiling Main ( teste.hs, interpreted )
Ok, modules loaded: Main.
```

Exemplos de uso

```
> dobro 2
4

> quadruplo 2
8

> take (quadruplo 2) [1..10]
[1,2,3,4,5,6,7,8]
```

Modificar o ficheiro

Acrescentamos duas novas definições ao ficheiro:

```
factorial n = product [1..n]
media x y = (x+y)/2
```

No interpretador usamos *:reload* para carregar as modificações.

```
> :reload
...
> factorial 10
3628800
> media 2 3
2.5
```

Comandos úteis do interpretador

`:load` *fich*	carregar um ficheiro
`:reload`	re-carregar modificações
`:edit`	editar o ficheiro actual
`:set editor` *prog*	definir o editor
`:type` *expr*	mostrar o tipo duma expressão
`:help`	obter ajuda
`:quit`	terminar a sessão

Podem ser abreviados, e.g. `:l` em vez de `:load`.

Identificadores

Os nomes de funções e argumentos devem começar por letras mínusculas e podem incluir letras, dígitos, sublinhados e apóstrofes:

```
fun1    x_2    y'    fooBar
```

As seguintes palavras reservadas não podem ser usadas como identificadores:

```
case class data default deriving do else
if import in infix infixl infixr instance
let module newtype of then type where
```

Definições locais

Podemos fazer definições locais usando `where`.

```
a = b+c
  where b = 1
        c = 2
d = a*2
```

A indentação indica o âmbito das declarações; também podemos usar agrupamento explícito.

```
a = b+c
  where {b = 1;
         c = 2}
d = a*2
```

Indentação

Todas as definições num mesmo âmbito devem começar na mesma coluna.

```
a = 1
 b = 2
c = 3
```

ERRADO

```
  a = 1
b   = 2
  c = 3
```

ERRADO

```
a = 1
b = 2
c = 3
```

OK

A ordem das definições não é relevante.

Comentários

Simples: começam por `--` até ao final da linha

Embricados: delimitados por `{-` e `-}`

```
-- factorial de um número inteiro
factorial n = product [1..n]

-- média de dois valores
media x y = (x+y)/2

{- ** as definições seguintes estão comentadas **
dobro x = x+x
quadrado x = x*x
-}
```