Linguagens de Programação

Fabio Mascarenhas - 2015.2

http://www.dcc.ufrj.br/~fabiom/lp

Maps, filters e folds em Scala

- Esses padrões são tão comuns que naturalmente já existem implementações deles na biblioteca padrão de Scala

- Toda lista já tem funções `map`, `filter` (na verdade, vários tipos de filtro), `reduce{Right,Left}` e `fold{Right,Left}` definidas, chamadas com a sintaxe OO de Scala (usando .)

```
List(1,2,3,4,5).map(x => x * x)

List(1,2,3,4,5).foldLeft(1)((x, y) => x * y))

List(1,2,3,4).reduceRight((x, y) => x + y)
```

Busca combinatória

- Vimos como expressar com *map*, *reduce*, *filter* e *fold* computações para as quais usaríamos laços em linguagens imperativas, mas até agora nos limitamos a um único laço

- Vamos pensar no seguinte problema: dadas duas listas de números inteiros, achar todos os pares no produto cartesiano dessas listas que são primos entre si

- Para isso, podemos gerar uma lista com todos os pares no produto cartesiano, e filtrar o resultado

Produto cartesiano

- A primeira tentativa de gerar o produto cartesiano de duas listas:

```
l1.map(x => l2.map(y => (x, y)))
```

- Para cada elemento da primeira lista, geramos os pares daquele elemento com os elementos da segunda lista

- Mas isso não dá bem o que queremos: o resultado do *map* externo é um `List[List[(Int,Int)]]`, e não um `List[(Int,Int)]`!

- Uma alternativa é fazer um `foldRight(Nil)((l1, l2) => l1 ++ l2)` que concatenaria todas essas sublistas

flatten e flatMap

- Concatenar as sublistas de uma `List[List[T]]` em uma `List[T]` é uma operação tão comum que ela também é pré-definida em Scala: `flatten`

- Existe também uma versão de `map` combinada com `flatten`, que é mais eficiente: `flatMap`

```
def flatMap[T,U](l: List[T], f: T => List[U]): List[U] = l match {
  case Nil => Nil
  case h :: t => f(h) ++ flatMap(t, f)
}
```

- Nosso problema de obter os pares do produto cartesiano que são primos entre si pode ser resolvido com:

```
l1.flatMap(x => l2.map(y => (x, y))).filter(
  { case (x, y) => mdc(x, y) == 1 }
)
```

Expressões *for*

- Com uma combinação de maps e filtros conseguimos expressar diversas buscas combinatórias, mas a sintaxe atrapalha

- Por isso Scala (e outras linguagens funcionais) tem um açúcar sintático para esse tipo de expressão

- Em Scala esse açúcar é a *expressão* `for`

- Uma expressão `for` em nada se parece com um laço for de uma linguagem imperativa; seu modelo de funcionamento é mais parecido com a notação de conjuntos da matemática:

$$\{ (x, y) \mid x \in l_1 \wedge y \in l_2 \wedge mdc(x, y) = 1 \}$$

Expressões `for`

- Uma expressão for tem o formato:

```
for {
  <gerador ou filtro>
  ...
  <gerador ou filtro>
} yield <exp>
```

- Um *gerador* é um termo `<padrão> <- <exp>`, onde `<exp>` é uma expressão de tipo `List[T]` e `<padrão>` é um padrão que casa com um valor de tipo `T`
- Um *filtro* é um termo `if <exp>`, onde `<exp>` é uma expressão de tipo `Boolean`
- Qualquer variável introduzida pelo lado esquerdo de um gerador é visível em geradores e filtros subsequentes, e na expressão que fecha o `for`

Exemplo

- Uma expressão for para o problema dos primos entre si:

```
for {
  x <- l1
  y <- l2
  if mdc(x, y) == 1
} yield (x, y)
```

- Uma expressão for com uma expressão final de tipo T avalia para uma `List[T]`

- Um `for` é uma expressão como qualquer outra, então podemos continuar processando ela:

```
(for {
  (x, y) <- l1.zip(l2)
} yield x * y).foldLeft(0)((a, b) => a + b)
```

Compilando `for`

- Uma expressão `for` é apenas açúcar sintático!

```
for {
  p <- e1
  if e2
  ...
} yield e3
```

→

```
for {
  p <- e1.filter({ case p => e2 })
  ...
} yield e3
```

```
for {
  p <- e1
  ...
} yield e2
```

→

```
e1.flatMap({ case p => for {
  ...
} yield e2 })
```

```
for {
  p <- e1
} yield e2
```

→

```
e1.map({ case p => e2 })
```

Tipos algébricos

- Recapitulando, uma lista é definida como a lista vazia ou um par composto de um elemento e outra lista

- Esse tipo de definição de uma estrutura de dados é uma instância de um padrão mais geral: os *tipos algébricos*

- A definição de um tipo algébrico é dada por um ou mais *construtores*, onde os construtores que têm parâmetros do próprio tipo algébrico são os *casos indutivos*, e os construtores que não têm parâmetros do próprio tipo algébrico são os *casos base*

- Para listas, o construtor `Nil` é o único caso base, e o construtor `::` é o único caso indutivo

:: (x: T, xs: List[T])

Case classes

- Tipos algébricos se prestam naturalmente à desconstrução por casamento de padrões, e por isso linguagens funcionais costumam oferecer sintaxe para sua definição

- Em Scala, definimos tipos algébricos usando *case classes*

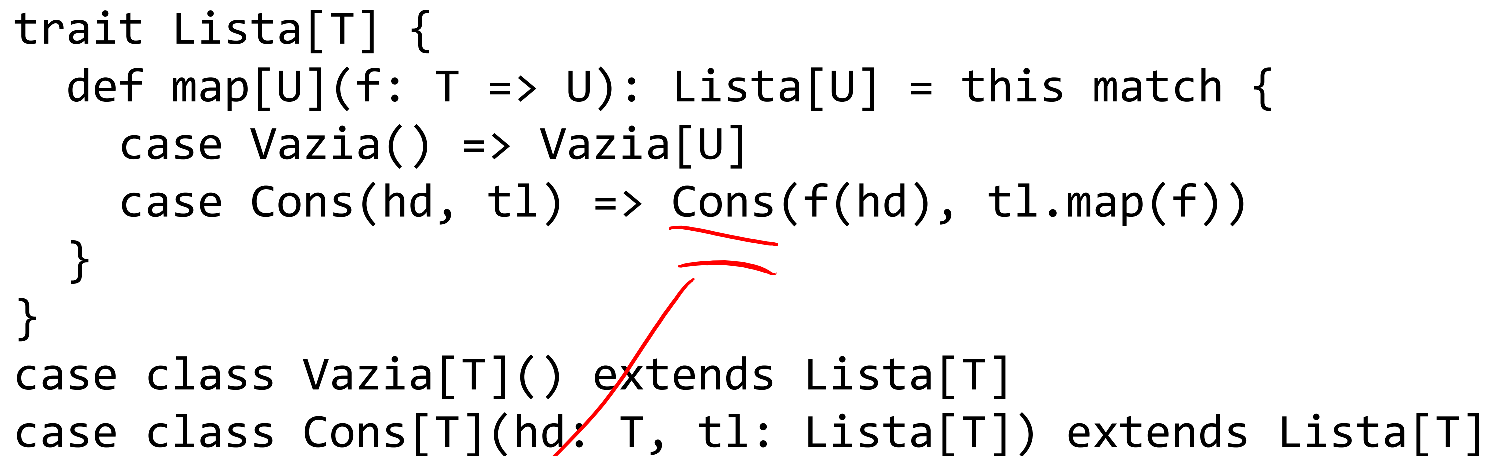
```
trait Lista[T]
case class Vazia[T]() extends Lista[T]
case class Cons[T](hd: T, tl: Lista[T]) extends Lista[T]

def tamanho[T](l: Lista[T]): Int = l match {
  case Vazia() => 0
  case Cons(hd, tl) => 1 + tamanho(tl)
}
```

Case classes

- A declaração do tipo algébrico é dada por um *trait*
- Cada construtor é uma *case class* que extende o tipo algébrico, e lista seus parâmetros
- O construtor define tanto uma função para construir elementos do tipo algébrico, quanto um padrão para ser usado no *match*
- Podemos definir as funções que operam em um tipo algébrico dentro do seu *trait* também, e usá-las com a sintaxe OO de Scala

Case classes estilo OO

- Definindo uma função *map* em Lista[T] com a sintaxe OO:



```
trait Lista[T] {
  def map[U](f: T => U): Lista[U] = this match {
    case Vazia() => Vazia[U]
    case Cons(hd, tl) => Cons(f(hd), tl.map(f))
  }
}
case class Vazia[T]() extends Lista[T]
case class Cons[T](hd: T, tl: Lista[T]) extends Lista[T]
```

Option[T]

- O tipo `Option[T]` é outro tipo algébrico pré-definido em Scala, para representar valores opcionais de maneira mais segura que o uso de *null*
- Um `Option[T]` pode ser ou `None`, que quer dizer que não há nenhum valor, ou `Some(x: T)`
- Podemos usar `Option[T]` para criar uma versão segura da função que obtém o primeiro elemento de uma lista:

```
def primeiro[T](l: List[T]): Option[T] = l match {
  case Nil => None
  case h :: t => Some(h)
}
```

Options e `for`

- Uma maneira de enxergar um `Option[T]` é como uma lista contendo no máximo um elemento do tipo `T`
- Em Scala, o tipo `Option[T]` também implementa algumas funções que vimos para listas, em especial `flatMap` e `filter`
- Isso quer dizer que podemos usar a sintaxe do `for` com geradores que retornam `Option[T]` também:

```
def multPrimeiro(l1: List[Int], l2: List[Int]): Option[Int] =
  for {
    x <- primeiro(l1)
    y <- primeiro(l2)
  } yield x * y
```

Some(x*y) se Some(x) e Some(y)

None se x ou y são None

Árvores

- Uma aplicação comum para tipos algébricos são estruturas em árvore

- Por exemplo, uma árvore binária rotulada é simples de definir:

```
trait ArvoreBin[T]
case class Folha[T](rot: T) extends ArvoreBin[T]
case class Ramo[T](rot: T,
                   esq: ArvoreBin[T],
                   dir: ArvoreBin[T]) extends ArvoreBin[T]
```

- Claro que variantes são possíveis, como árvores sem rótulos nas folhas, e árvores com rótulos apenas nas folhas

map e fold em árvores

- É bem fácil definir um equivalente de `map` para nossas árvores binárias:

```
trait ArvoreBin[T] {
  def map[U](f: T => U): ArvoreBin[U] = this match {
    case Folha(x) => Folha(f(x))
    case Ramo(x, e, d) => Ramo(f(x), e.map(f), d.map(f))
  }
}
```

- Um *fold* é mais complicado; uma maneira seria definir folds equivalentes aos folds resultantes da lista que temos quando caminhamos a árvore em pré-ordem, ordem ou pós-ordem

Catamorfismos

- Catamorfismos são generalizações da operação *fold* para outros tipos algébricos

- Um catamorfismo é a substituição dos construtores de um tipo algébrico por outras funções

- No caso do fold de listas, o construtor `Nil` é substituído por uma [função] constante `z` e o construtor `::` por uma função binária `f`

- Logo, para árvores binárias, vamos substituir o construtor `Folha` por uma função de um parâmetro `f` e o construtor `Ramo` por uma função de três parâmetros `g`