Programare funcțională

Funcții de ordin înalt. Procesarea fluxurilor de date.

Ioana Leuștean
Traian Florin Șerbănuță

Departamentul de Informatică, FMI, UB
ioana@fmi.unibuc.ro
traian.serbanuta@unibuc.ro

20 octombrie 2020

Cuprins

Cuprins

Operatorii sunt funcții cu două argumente

Operatorii în Haskell

- au două argumente
- pot fi apelați folosind notația infix
- pot fi definiți folosind numai "simboluri" (ex: *!*)
  - în definiția tipului operatorul este scris între paranteze

Operatorii sunt funcții cu două argumente

Operatorii în Haskell

- au două argumente
- pot fi apelați folosind notația infix
- pot fi definiți folosind numai "simboluri" (ex: *!*)
  - în definiția tipului operatorul este scris între paranteze

- Operatori predefiniți

```
(||) :: Bool -> Bool -> Bool
(:) :: a -> [a] -> [a]
(+) :: Num a => a -> a -> a
```

Operatorii sunt funcții cu două argumente

Operatorii în Haskell

- au două argumente
- pot fi apelați folosind notația infix
- pot fi definiți folosind numai "simboluri" (ex: *!*)
  - în definiția tipului operatorul este scris între paranteze

- Operatori predefiniți

```
(||) :: Bool -> Bool -> Bool
(:) :: a -> [a] -> [a]
(+) :: Num a => a -> a -> a
```

- Operatori definiți de utilizator

```
(&&&) :: Bool -> Bool -> Bool  -- atentie la paranteze
True &&& b = b
False &&& _ = False
```

Funcții ca operatori

```
Prelude> mod 5 2
1
Prelude> 5 `mod` 2
1
```

Funcții ca operatori

```
Prelude> mod 5 2
1
Prelude> 5 `mod` 2
1
```

- operatorii care sunt definiți în formă infix, sunt apelați în formă prefix folosind paranteze
  2 + 3 == (+) 2 3
- operatorii care sunt definiți în formă prefix, sunt apelați în formă infix folosind ‘ ‘
  mod 5 2 == 5 ‘mod‘ 2

Funcții ca operatori

```
Prelude> mod 5 2
1
Prelude> 5 `mod` 2
1
```

- operatorii care sunt definiți în formă infix, sunt apelați în formă prefix folosind paranteze
  2 + 3 == (+) 2 3
- operatorii care sunt definiți în formă prefix, sunt apelați în formă infix folosind ` `
  mod 5 2 == 5 `mod` 2

```
elem :: a -> [a] -> Bool
Prelude> 1 `elem` [1,2,3]
True
```

Funcții ca operatori

```
Prelude> mod 5 2
1
Prelude> 5 `mod` 2
1
```

- operatorii care sunt definiți în formă infix, sunt apelați în formă prefix folosind paranteze
  2 + 3 == (+) 2 3
- operatorii care sunt definiți în formă prefix, sunt apelați în formă infix folosind ` `
  mod 5 2 == 5 `mod` 2

```
elem :: a -> [a] -> Bool
Prelude> 1 `elem` [1,2,3]
True
```

Precedență și asociativitate

```
Prelude> 3+5*4:[6]++8-2+3:[2]==[23,6,9,2]||True==False
```

Precedență și asociativitate

```
Prelude> 3+5*4:[6]++8-2+3:[2]==[23,6,9,2]||True==False
True
```

Precedență și asociativitate

```
Prelude> 3+5*4:[6]++8-2+3:[2]==[23,6,9,2]||True==False
True
```

Precedence	Left associative	Non-associative	Right associative
9	!!		.
8			^, ^^, **
7	*, /, ‘**div**‘, ‘**mod**‘, ‘**rem**‘, ‘**quot**‘		
6	+, -		
5			:, ++
4		==, /=, <, <=, >, >=, ‘**elem**‘, ‘**notElem**‘	
3			&&
2			||
1	>>, >>=		
0			$, $!, ‘**seq**‘

Asociativitate

Operatorul - asociativ la stanga

$5 - 2 - 1 == (5 - 2) - 1$ $\quad --$ $\quad /= 5 - (2 - 1)$

Asociativitate

Operatorul - asociativ la stanga

$5 - 2 - 1 == (5 - 2) - 1$ –– $/= 5 - (2 - 1)$

Operatorul : asociativ la dreapta

$5 : 2 : [] == 5 : (2 : [])$

Asociativitate

Operatorul - asociativ la stanga

$5 - 2 - 1 == (5 - 2) - 1 \quad -- \quad /= 5 - (2 - 1)$

Operatorul : asociativ la dreapta

$5 : 2 : [] == 5 : (2 : [])$

Operatorul ++ asociativ la dreapta

```
(++) :: [a] -> [a] -> [a]
[] ++ ys = ys
(x:xs) ++ ys = x:(xs ++ ys)
```

$l1 ++ l2 ++ l3 ++ l4 ++ l5 == l1 ++ (l2 ++ (l3 ++ (l4 ++ l5)))$

Asociativitate

Operatorul - asociativ la stanga

$5 - 2 - 1 == (5 - 2) - 1 \quad -- \quad /= 5 - (2 - 1)$

Operatorul : asociativ la dreapta

$5 : 2 : [] == 5 : (2 : [])$

Operatorul ++ asociativ la dreapta

```
(++) :: [a] -> [a] -> [a]
[] ++ ys = ys
(x:xs) ++ ys = x:(xs ++ ys)
```

$l1 ++ l2 ++ l3 ++ l4 ++ l5 == l1 ++ (l2 ++ (l3 ++ (l4 ++ l5)))$

Care este complexitatea aplicării operatorului ++?

Asociativitate

Operatorul - asociativ la stanga

```
5 - 2 - 1 == (5 - 2) - 1        --        /= 5 - (2 - 1)
```

Operatorul : asociativ la dreapta

```
5 : 2 : [] == 5 : (2 : [])
```

Operatorul ++ asociativ la dreapta

```
(++) :: [a] -> [a] -> [a]
[] ++ ys = ys
(x:xs) ++ ys = x:(xs ++ ys)
```

```
l1 ++ l2 ++ l3 ++ l4 ++ l5 == l1 ++ (l2 ++ (l3 ++ (l4 ++ l5)))
```

Care este complexitatea aplicării operatorului ++?

- liniară în lungimea primului argument

Cuprins

Secțiuni ("operator sections")

Secțiunile operatorului binar op sunt (op e) și (e op).
Matematic, ele corespund aplicării parțiale a funcției op.

- secțiunile lui ++ sunt (++ e) și (e ++)

Secțiuni ("operator sections")

Secțiunile operatorului binar op sunt (op e) și (e op).
Matematic, ele corespund aplicării parțiale a funcției op.

- secțiunile lui ++ sunt (++ e) și (e ++)

```
Prelude> :t (++ " world!")
(++ " world!") :: [Char] -> [Char]
Prelude> (++ " world!") "Hello" -- atentie la
    paranteze
"Hello world!"
```

Secțiuni ("operator sections")

Secțiunile operatorului binar op sunt (op e) și (e op).
Matematic, ele corespund aplicării parțiale a funcției op.

- secțiunile lui ++ sunt (++ e) și (e ++)

```
Prelude> :t (++ " world!")
(++ " world!") :: [Char] -> [Char]
Prelude> (++ " world!") "Hello" -- atentie la
    paranteze
"Hello world!"
Prelude> ++ " world!" "Hello"
error
```

Secțiuni ("operator sections")

Secțiunile operatorului binar op sunt (op e) și (e op).
Matematic, ele corespund aplicării parțiale a funcției op.

- secțiunile lui ++ sunt (++ e) și (e ++)

```
Prelude> :t (++ " world!")
(++ " world!") :: [Char] -> [Char]
Prelude> (++ " world!") "Hello"  -- atentie la
    paranteze
"Hello world!"
Prelude> ++ " world!" "Hello"
error
```

- secțiunile lui <-> sunt (<-> e) și (e <->), unde

```
Prelude> let x <-> y = x-y+1  -- definit de utilizator
Prelude> :t (<-> 3)
(<-> 3) :: Num a => a -> a
Prelude> (<-> 3) 4
2
```

Secțiuni

- Secțiunile operatorului (:)

Secțiuni

- Secțiunile operatorului (:)

```
Prelude> (2:)[1,2]
[2,1,2]
Prelude> (:[1,2]) 3
[3,1,2]
```

Secțiuni

- Secțiunile operatorului (:)

```
Prelude> (2:)[1,2]
[2,1,2]
Prelude> (:[1,2]) 3
[3,1,2]
```

- Secțiunile sunt afectate de asociativitatea și precedența operatorilor.

```
Prelude> :t (+ 3 * 4)
(+ 3 * 4) :: Num a => a -> a

Prelude> :t (* 3 + 4)
error -- + are precedenta mai mica decat *
Prelude> :t (* 3 * 4)
error  -- * este asociativa la stanga
Prelude> :t (3 * 4 *)
(3 * 4 *) :: Num a => a -> a
```

Funcții anonime și secțiuni

Sectiunile sunt definite prin lambda expresii:

- (`op` 2) e forma scurtă a lui (\x -> x `op` 2)
- (2 `op`) e forma scurtă a lui (\x -> 2 `op` x)

Exemple

- (> 0) e forma scurtă a lui (\x -> x > 0)
- (2 *) e forma scurtă a lui (\x -> 2 * x)
- (+ 1) e forma scurtă a lui (\x -> x + 1)
- (2 ^) e forma scurtă a lui (\x -> 2 ^ x)
- (^ 2) e forma scurtă a lui (\x -> x ^ 2)

Compunerea funcțiilor — operatorul .

Matematic

Date fiind $f : A \to B$ și $g : B \to C$, compunerea lor, notată $g \circ f : A \to C$ este dată de formula

$$(g \circ f)(x) = g(f(x))$$

În Haskell

```
(.) :: (b -> c) -> (a -> b) -> (a -> c)
(g . f) x = g (f x)
```

Exemplu

```
Prelude> :t reverse
reverse :: [a] -> [a]
Prelude> :t take
take :: Int -> [a] -> [a]
Prelude> :t take 5 . reverse
take 5 . reverse :: [a] -> [a]

Prelude> (take 5 . reverse) [1..10]
[10,9,8,7,6]

Prelude> (head . reverse . take 5) [1..10]
5
```

Operatorul $

Operatorul ($) are precedența 0.

```
($) :: (a -> b) -> a -> b
f $ x = f x
```

```
Prelude> (head . reverse . take 5) [1..10]
5

Prelude> head . reverse . take 5 $ [1..10]
5
```

Operatorul ($) este asociativ la dreapta.

```
Prelude> head $ reverse $ take 5 $ [1..10]
5
```

Cuprins

Pătrate

Definiți o funcție care pentru o listă de numere întregi dată ridică la pătrat fiecare element din listă.

```
*Main> squares [1,-2,3]
[1,4,9]
```

Soluție descriptivă

```
squares :: [Int] -> [Int]
squares xs = [ x * x | x <- xs ]
```

Soluție recursivă

```
squares :: [Int] -> [Int]
squares []     = []
squares (x:xs) = x*x : squares xs
```

Coduri ASCII

Transformați un șir de caractere în lista codurilor ASCII ale caracterelor.

```
*Main> ords "a2c3"
[97,50,99,51]
```

Soluție descriptivă

```
ords :: [Char] -> [Int]
ords xs = [ ord x | x <- xs ]
```

Soluție recursivă

```
ords :: [Char] -> [Int]
ords []     = []
ords (x:xs) = ord x : ords xs
```

Funcția **map**

Definiție

Date fiind o funcție de transformare și o listă, aplicați funcția fiecărui element al unei liste date.

Soluție descriptivă

```
map :: (a -> b) -> [a] -> [b]
map f xs = [ f x | x <- xs ]
```

Soluție recursivă

```
map :: (a -> b) -> [a] -> [b]
map f []     = []
map f (x:xs) = f x : map f xs
```

Exemplu — Pătrate

Soluție descriptivă

```
squares :: [Int] -> [Int]
squares xs = [ x * x | x <- xs ]
```

Soluție recursivă

```
squares :: [Int] -> [Int]
squares []     = []
squares (x:xs) = x*x : squares xs
```

Soluție folosind **map**

```
squares :: [Int] -> [Int]
squares xs = map sqr xs
  where sqr x = x * x
```

Exemplu — Coduri ASCII

Soluție descriptivă

```
ords :: [Char] -> [Int]
ords xs = [ ord x | x <- xs ]
```

Soluție recursivă

```
ords :: [Char] -> [Int]
ords []     = []
ords (x:xs) = ord x : ords xs
```

Soluție folosind **map**

```
ords :: [Char] -> [Int]
ords xs = map ord xs
```

Cuprins

Selectarea elementelor pozitive dintr-o listă

```
*Main> positives [1,-2,3]
[1,3]
```

Soluție descriptivă

```
positives :: [Int] -> [Int]
positives xs = [ x | x <- xs, x > 0 ]
```

Soluție recursivă

```
positives :: [Int] -> [Int]
positives []                  = []
positives (x:xs) | x > 0      = x : positives xs
                 | otherwise  = positives xs
```

Selectarea cifrelor dintr-un șir de caractere

```
*Main> digits "a2c3"
"23"
```

Soluție descriptivă

```
digits :: [Char] -> [Char]
digits xs = [ x | x <- xs, isDigit x ]
```

Soluție recursivă

```
digits :: [Char] -> [Char]
digits []                   = []
digits (x:xs) | isDigit x = x : digits xs
              | otherwise = digits xs
```

Funcția **filter**

Definiție

Date fiind un predicat (funcție booleană) și o listă, selectați elementele din listă care satisfac predicatul.

Soluție descriptivă

```
filter :: (a -> Bool) -> [a] -> [a]
filter p xs = [ x | x <- xs, p x ]
```

Soluție recursivă

```
filter :: (a -> Bool) -> [a] -> [a]
filter p []                 = []
filter p (x:xs) | p x       = x : filter p xs
                | otherwise = filter p xs
```

Exemplu — Pozitive

Soluție descriptivă

```
positives :: [Int] -> [Int]
positives xs = [ x | x <- xs, x > 0 ]
```

Soluție recursivă

```
positives :: [Int] -> [Int]
positives []                    = []
positives (x:xs) | x > 0        = x : positives xs
                 | otherwise    = positives xs
```

Soluție folosind **filter**

```
positives :: [Int] -> [Int]
positives xs = filter pos xs
  where pos x = x > 0
```

Exemplu — Cifre

Soluție descriptivă

```
digits :: [Char] -> [Char]
digits xs = [ x | x <- xs, isDigit x ]
```

Soluție recursivă

```
digits :: [Char] -> [Char]
digits []                   = []
digits (x:xs) | isDigit x = x : digits xs
              | otherwise = digits xs
```

Soluție folosind **filter**

```
digits :: [Char] -> [Char]
digits xs = filter isDigit xs
```

Cuprins

Suma

Definiți o funcție care dată fiind o listă de numere întregi calculează suma elementelor din listă.

```
*Main> sum [1,2,3,4]
10
```

Soluție recursivă

```
sum :: [Int] -> Int
sum []     = 0
sum (x:xs) = x + sum xs
```

Produs

Definiți o funcție care dată fiind o listă de numere întregi calculează produsul elementelor din listă.

```
*Main> product [1,2,3,4]
24
```

Soluție recursivă

```
product :: [Int] -> Int
product []     = 1
product (x:xs) = x * sum xs
```

Concatenare

Definiți o funcție care concatenează o listă de liste.

```
*Main> concat [[1,2,3],[4,5]]
[1,2,3,4,5]

*Main> concat ["con","ca","te","na","re"]
"concatenare"
```

Soluție recursivă

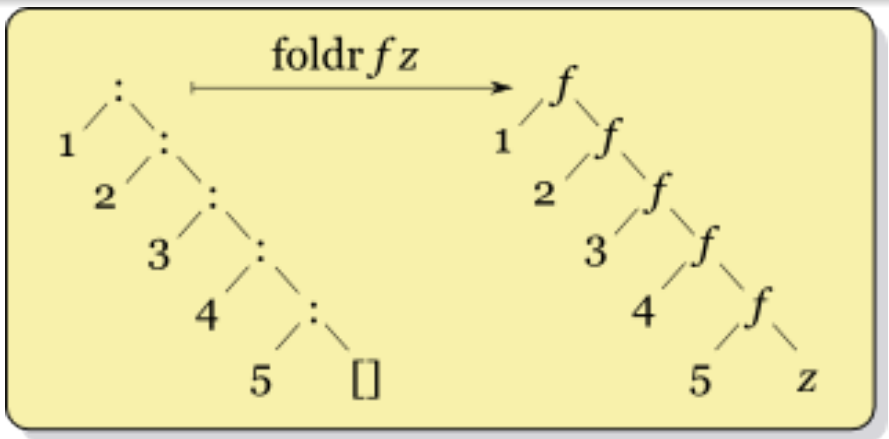
```
concat :: [[a]] -> [a]
concat []       = []
concat (xs:xss) = xs ++ concat xss
```

Funcția **foldr**

Definiție

foldr :: (a –> b –> b) –> b –> [a] –> b

Date fiind o funcție de actualizare a valorii calculate cu un element curent, o valoare inițială, și o listă, calculați valoarea obținută prin aplicarea repetată a funcției de actualizare fiecărui element din listă.



Funcția **foldr**

Definiție

foldr :: (a -> b -> b) -> b -> [a] -> b

Date fiind o funcție de actualizare a valorii calculate cu un element curent, o valoare inițială, și o listă, calculați valoarea obținută prin aplicarea repetată a funcției de actualizare fiecărui element din listă.

Soluție recursivă

```
foldr :: (a -> b -> b) -> b -> [a] -> b
foldr f i []     = i
foldr f i (x:xs) = f x (foldr i xs)
```

Soluție recursivă cu operator infix

```
foldr :: (a -> b -> b) -> b -> [a] -> b
foldr op i []     = i
foldr op i (x:xs) = x `op` (foldr i xs)
```

Suma

Soluție recursivă

```
sum :: [Int] -> Int
sum []     = 0
sum (x:xs) = x + sum xs
```

Soluție folosind **foldr**

```
sum :: [Int] -> Int
sum xs = foldr (+) 0 xs
```

Exemplu

```
foldr (+) 0 [1, 2, 3] == 1 + (2 + (3 + 0))
```

Produs

Soluție recursivă

```
product :: [Int] -> Int
product []     = 1
product (x:xs) = x * product xs
```

Soluție folosind **foldr**

```
product :: [Int] -> Int
product xs = foldr (*) 1 xs
```

Exemplu

```
foldr (*) 1 [1, 2, 3] == 1 * (2 * (3 * 1))
```

Concatenare

Soluție recursivă

```
concat :: [[a]] -> [a]
concat []       = []
concat (xs:xss) = xs ++ concat xss
```

Soluție folosind **foldr**

```
concat :: [[a]] -> [a]
concat xs = foldr (++) [] xs
```

Exemplu

```
foldr (++) [] ["Ana ", "are ", "mere."]
  == "Ana " ++ ("are " ++ ("mere." ++ []))
```

Cuprins

Suma pătratelor numerelor pozitive

```
f :: [Int] -> Int
f xs = sum (squares (positives xs))

f :: [Int] -> Int
f xs = sum [ x*x | x <- xs, x > 0 ]

f :: [Int] -> Int
f []                  = 0
f (x:xs)| x > 0       = (x*x) + f xs
        | otherwise = f xs

f :: [Int] -> Int
f xs = foldr (+) 0 (map sqr (filter pos xs))
  where
    sqr x = x * x
    pos x = x > 0
```

Foldr cu secțiuni — Exemplu

Folosind λ-expresii

```
f :: [Int] -> Int
f xs = foldr (+) 0
         (map (\ x -> x * x)
            (filter (\ x -> x > 0) xs))
```

Folosind secțiuni

```
f :: [Int] -> Int
f xs = foldr (+) 0 (map (^2) (filter (>0) xs))
```

Operatorul . — stilul funcțional

Definiție cu parametru explicit

```
f :: [Int] -> Int
f xs = foldr (+) 0 (map (^2) (filter (>0) xs))
```

Definiție compozițională

```
f :: [Int] -> Int
f = foldr (+) 0 . map (^2) . filter (>0)
```

Cuprins

Map/Filter/Reduce în Haskell

Problemă

Aflați lungimea celui mai lung cuvânt care începe cu litera ’c’ dintr-o listă dată.

Map/Filter/Reduce în Haskell

Problemă

Aflați lungimea celui mai lung cuvânt care începe cu litera 'c' dintr-o listă dată.

```
strs = ["cezara", "petru", "claudia", "", "virgil"];
maxLengthFn = foldr max 0 .
              map length .
              filter testC
  where testC ('c':_) = True
        testC _       = False
maxLength = maxLengthFn strs
```

Map/Filter/Reduce în Python

http://www.python-course.eu/lambda.php

```
strs = ["cezara", "petru", "claudia", "", "virgil"];
def maxLengthFn(strs):
  return reduce(max,
           map(len,
             filter(lambda s: len(s) > 0 and s[0] == 'c',
               strs)));
maxLength = maxLengthFn(strs);
print(maxLength);
```

Map/Filter/Reduce în Javascript

http://cryto.net/~joepie91/blog/2015/05/04/functional-programming-in-javascript-map-filter-reduce/

```
var strs = ["cezara", "petru", "claudia", "", "virgil"];
var maxLength = strs
                .filter(function(s){ return s[0]=='c'; })
                .map(function(s){ return s.length; })
                .reduce(function(a,b){ return Math.max(a,b); }
```

Map/Filter/Reduce în PHP

http://eddmann.com/posts/mapping-filtering-and-reducing-in-php/

```
$strs = array("cezara", "petru", "claudia", "", "virgil");
$max_length = array_reduce(
  array_map(
    "strlen",
    array_filter(
      $strs,
      function($s){return isset($s[0]) && $s[0]=='c';})),
  "max",
  0);
echo $max_length;
```

Map/Filter/Reduce în Java 8

http://winterbe.com/posts/2014/07/31/java8-stream-tutorial-examples/

```
package edu.unibuc.fmi;
import java.util.*;

public class Main {
  public static void main(String[] args) {
    List<String> myList = Arrays.asList(
        "cezara", "petru", "claudia", "", "virgil");
    int l =
        myList
            .stream()
            .filter(s -> s.startsWith("c"))
            .map(String::length)
            .reduce(0, Integer::max);
        System.out.println(l);
    }
}
```

Map/Filter/Reduce în C++11

https://meetingcpp.com/tl_files/mcpp/slides/12/FunctionalProgrammingInC++11.pdf

```
#include <algorithm>
#include <string>
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
  vector<string>strs {"cezara", "petru", "claudia", "", "virgi
  strs.erase(remove_if(strs.begin(), strs.end(),
                  [](string x){return x[0]!='c';}),
        strs.end());
  vector<int>lengths;
  transform(strs.begin(), strs.end(), back_inserter(lengths),
            [](string x) { return x.length();});
  int max_length = accumulate(lengths.begin(), lengths.end(),
                      0,  [](int a,int b){ return a>b?a:b; });
  cout << max_length;
}
```