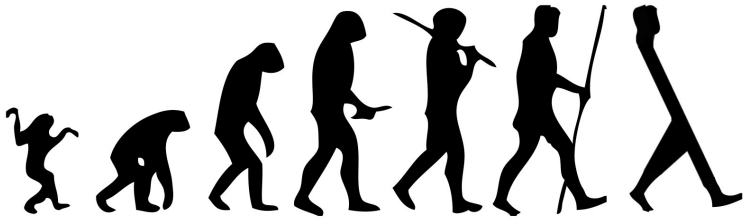
PARADIGME DE PROGRAMARE

Curs 6

Limbajul Haskell.

1

Programare funcțională în Haskell



2

2

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii `.` și `$`
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

3

3

Sintaxa Haskell

- **Notație infixată pentru operatori**
  `1 + 2, a < 5`
- **Notație prefixată pentru funcții**
  `filter odd [1 .. 7], f 2 + f 5`
- **Parantezele se folosesc pentru controlul priorității (nu pentru aplicația de funcție)**
  `f (1 + 2), f (g x)`
  `(f 1) + 2` este echivalent cu `f 1 + 2`, întrucât aplicația de funcție are cea mai mare prioritate
  `(f g) x` este echivalent cu `f g x`, întrucât aplicația de funcție este asociativă la stânga
- **Indentarea înlocuiește controlul prin separatori ca { } sau ;**
  Orice cod din corpul unei expresii trebuie indentat mai la dreapta decât începutul expresiei!
  O nouă expresie începe pe același nivel sau mai la stânga față de începutul expresiei anterioare!

4

4

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii . și $
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

5

5

TDA-ul Pereche

Constructori de bază

(,) : T1 x T2 -> Pereche // creează o pereche între orice 2 argumente

Operatori

fst : Pereche -> T1 // extrage prima valoare din pereche
snd : Pereche -> T2 // extrage a doua valoare din pereche

Exemple

```
(1, "unu")
a = (('a', 2), "a2")
fst a
snd (fst a)
```

6

6

TDA-ul Pereche

Constructori de bază

(,) : T1 x T2 -> Pereche // creează o pereche între orice 2 argumente

Operatori

fst : Pereche -> T1 // extrage prima valoare din pereche
snd : Pereche -> T2 // extrage a doua valoare din pereche

Exemple

```
(1, "unu")                  -- (1, "unu")
a = (('a', 2), "a2")
fst a                       -- ('a', 2)
snd (fst a)                 -- 2
```

7

7

TDA-ul Listă

Constructori (de bază și nu numai)

[] : -> Listă // creează o listă vidă
: : T x Listă -> Listă // creează o listă prin adăugarea unei valori la începutul unei liste
[, , .. ,] : T x .. T -> Listă // creează o listă din toate argumentele sale (de același tip)

Operatori

head : Listă -> T
tail : Listă -> Listă
null : Listă -> Bool
length : Listă -> Nat
++ : Listă x Listă -> Listă

Exemple

```
head [[2,4],[6],[5]]
tail (2:3:[4,5])
null [[]]
length [[]]
[1] ++ [1,2,3] ++ [4,5]
```

8

8

TDA-ul Listă

Constructori (de bază și nu numai)

`[]` : -> Listă	// creează o listă vidă
`:` : T x Listă -> Listă	// creează o listă prin adăugarea unei valori la începutul unei liste
`[, , .. , ]` : T x .. T -> Listă	// creează o listă din toate argumentele sale (de același tip)

Operatori

`head` : Listă -> T	
`tail` : Listă -> Listă	
`null` : Listă -> Bool	
`length` : Listă -> Nat	
`++` : Listă x Listă -> Listă	

Exemple

```
head [[2,4],[6],[5]]      -- [2,4]
tail (2:3:[4,5])          -- [3,4,5]
null [[]]                 -- False
length [[]]               -- 1
[1] ++ [1,2,3] ++ [4,5]   -- [1,1,2,3,4,5]
```

9

9

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii `.` și `$`
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

10

10

Funcții anonime în Haskell

```
\parametri -> corp
```

Exemple

λx.x	`\x -> x`	
λx.λy.(x y)	`\x -> \y -> x y`	echivalent cu
	`\x y -> x y`	(întrucât funcțiile Haskell sunt **automat curry**)
(λx.x λx.y)	`(\x -> x) (\x -> y)`	

11

11

Funcții cu nume în Haskell

```
f parametri = corp
```

Exemple

```
arithmeticMean = \x -> \y -> (x + y)/2      echivalent cu
arithmeticMean = \x y -> (x + y)/2          și cu
arithmeticMean x y = (x + y)/2

f = arithmeticMean 3      -- se creează \y -> (3 + y)/2
f 18                      -- 10.5
```

12

12

Simularea funcțiilor uncurry

Definițiile de tipul
`f x1 x2 ... xn = corp`
generează funcții curry, care pot fi aplicate pe oricâți (≤n) parametri la un moment dat.
`f e1 e2 ... ek` întoarce o nouă funcție `\xk+1 ... xn -> corp[ei/xi]`.

Pentru a obține comportamentul de funcție uncurry, parametrul lui f trebuie să fie un tuplu:
`f (x1, x2 ..., xn)= corp`

Exemplu

```
arithmeticMean (x,y) = (x + y)/2
arithmeticMean (3,18)
```

13

13

Transformări operator – funcție

- (op) face transformarea operator → funcție

```
(-) 3 5                  -- -2
(||) (1<2) (5<3)         -- True
foldr (+) 0 [1..5]       -- 15
(/=) 2 2                 -- False
```

- `f` face transformarea funcție → operator

```
5 `mod` 3                -- 2
(div 6) `map` [1,2,3]    -- [6,3,2]
((==) 2) `filter` [1,2,3] -- [2]
```

14

14

Secțiuni (aplicare parțială a operatorilor)

- Când se dă operandul din stânga, se așteaptă operandul din dreapta

```
(5/) 2
map (2-) [0..4]
filter (2<) [0..4]
```

- Când se dă operandul din dreapta, se așteaptă operandul din stânga

```
(/5) 2
map (-2) [0..4]
map (/2) [0..4]
filter (<2) [0..4]
```

15

15

Secțiuni (aplicare parțială a operatorilor)

- Când se dă operandul din stânga, se așteaptă operandul din dreapta

```
(5/) 2              -- 2.5
map (2-) [0..4]     -- [2,1,0,-1,-2]
filter (2<) [0..4] -- [3,4]
```

- Când se dă operandul din dreapta, se așteaptă operandul din stânga

```
(/5) 2
map (-2) [0..4]
map (/2) [0..4]
filter (<2) [0..4]
```

16

16

Secțiuni (aplicare parțială a operatorilor)

- **Când se dă operandul din stânga, se așteaptă operandul din dreapta**

```
(5/) 2              -- 2.5
map (2-) [0..4]     -- [2,1,0,-1,-2]
filter (2<) [0..4] -- [3,4]
```

- **Când se dă operandul din dreapta, se așteaptă operandul din stânga**

```
(/5) 2              -- 0.4
map (-2) [0..4]     -- eroare, aici -2 e număr, nu funcție
map (/2) [0..4]     -- [0.0,0.5,1.0,1.5,2.0]
filter (<2) [0..4] -- [0,1]
```

17

17

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii . și $
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

18

18

Definirea funcțiilor prin pattern matching

Se descrie comportamentul funcțiilor în funcție de structura parametrilor – ca la scrierea axiomelor TDA-ului.

Exemple

```
1.  fib 0 = 0
2.  fib 1 = 1
3.  fib n = fib (n-2) + fib (n-1)
4.
5.  sumL [] = 0
6.  sumL (x:xs) = x + sumL xs
7.
8.  sumP (x,y) = x + y
9.
10. ordered [] = True
11. ordered [x] = True
12. ordered (x:xs@(y:rest)) = x <= y && ordered xs
```

permite crearea unui alias pentru valoarea următoare

19

19

La aplicare

```
1.  fib 0 = 0
2.  fib 1 = 1
3.  fib n = fib (n-2) + fib (n-1)
```

```
fib 3
```

- Dacă argumentul se potrivește cu parametrul din primul punct (primul pattern)
  - Se folosește definiția din primul punct
  - Se ignoră definițiile următoare
- Altfel
  - Se încearcă potrivirea cu punctul următor, ș.a.m.d.

Consecință: Ordinea contează!

20

20

Pattern-uri exhaustive

Este important să specificăm comportamentul funcției pe toate valorile tipului – ca la scrierea axiomelor TDA-ului.

```
1. ordered [] = True
2. ordered [x] = True
3. ordered (x:xs@(y:rest)) = x <= y && ordered xs
```

De aceea a trebuit să specificăm și ce se întâmplă pe lista vidă, și ce se întâmplă pe lista cu un singur element

O definiție alternativă pentru funcția `ordered`:

```
1. ordered2 (x:xs@(y:rest)) = x <= y && ordered2 xs
2. ordered2 _ = True
```

Se traduce prin „orice altceva"
Unde în definiția lui ordered se mai putea folosi?

21

21

Când se poate folosi pattern matching

- De fiecare dată **când se leagă variabile**
  - La definirea funcțiilor
  - La crearea de legări locale folosind `let` sau `where` (vom vedea)
- Pattern-urile **nu** se potrivesc și între ele

```
eq x x = True   -- dă eroare Conflicting definitions for `x'
eq _ _ = False
```

22

22

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii . și $
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

23

23

Operatorii . și $

- **Operatorul .** (punct) realizează **compunere de funcții**

```
myLast = head . reverse -- myLast [1..5] =
myMin = head . sort     -- myMin [2,4,1,2,3,6,2] =
myMax = myLast . sort   -- myMax [2,4,1,2,3,6,2] =
```

- **Operatorul $** (dolar) realizează **aplicație de funcție**

```
take 4 $ filter (odd . fst) $ zip [1..] [2..]
```

  - `f $ a = f a` este interesant pentru că `$` are o **prioritate foarte mică**, astfel încât ambele părți vor fi evaluate înainte să se realizeze aplicația de funcție → evităm astfel să folosim foarte multe paranteze
  - `$` este **asociativ la dreapta** și este util pentru a rescrie structuri de genul **f (g (h … x))**, nu poate suplini orice fel de paranteze (vezi (odd . fst) mai sus)

24

24

Operatorii . și $

- **Operatorul .** (punct) realizează **compunere de funcții**

```
myLast = head . reverse -- myLast [1..5] = 5
myMin = head . sort     -- myMin [2,4,1,2,3,6,2] = 1
myMax = myLast . sort   -- myMax [2,4,1,2,3,6,2] = 6
```

- **Operatorul $** (dolar) realizează **aplicație de funcție**

```
take 4 $ filter (odd . fst) $ zip [1..] [2..]
```

  - `f $ a = f a` este interesant pentru că `$` are o **prioritate foarte mică**, astfel încât ambele părți vor fi evaluate înainte să se realizeze aplicația de funcție → evităm astfel să folosim foarte multe paranteze
  - `$` este **asociativ la dreapta** și este util pentru a rescrie structuri de genul **f (g (h … x))**, nu poate suplini orice fel de paranteze (vezi (odd . fst) mai sus)

25

25

Operatorii . și $

- **Operatorul .** (punct) realizează **compunere de funcții**

```
myLast = head . reverse -- myLast [1..5] = 5
myMin = head . sort     -- myMin [2,4,1,2,3,6,2] = 1
myMax = myLast . sort   -- myMax [2,4,1,2,3,6,2] = 6
```

- **Operatorul $** (dolar) realizează **aplicație de funcție**

```
take 4 $ filter (odd . fst) $ zip [1..] [2..]
                            --[(1,2),(3,4),(5,6),(7,8)]
```

  - `f $ a = f a` este interesant pentru că `$` are o **prioritate foarte mică**, astfel încât ambele părți vor fi evaluate înainte să se realizeze aplicația de funcție → evităm astfel să folosim foarte multe paranteze
  - `$` este **asociativ la dreapta** și este util pentru a rescrie structuri de genul **f (g (h … x))**, nu poate suplini orice fel de paranteze (vezi (odd . fst) mai sus)

26

26

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii . și $
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

27

27

Condiționala `if`

```
if condiție then rezultatThen else rezultatElse
```

Exemple

```
if 2<3 then "all normal" else "what did just happen?"  -- "all normal"

uglySum l = if null l then 0
                      else head l + uglySum (tail l)
```

Observație

- Un cod Haskell elegant va folosi pattern matching sau gărzi (vom vedea) înainte de a folosi `if`

28

28

Condiționala `case`

```
case expresie of
     pattern1 -> rezultat1
     pattern2 -> rezultat2
     ...
     patternn -> rezultatn
```

Are sens atunci când nu putem folosi pattern matching sau gărzi, de exemplu aici când verificăm structura lui head matrix, mai degrabă decât pe a lui matrix

Exemplu

```
myTranspose matrix = case (head matrix) of
     [] -> []
     _ -> map head matrix : myTranspose (map tail matrix)
```

29

29

Gărzi

```
f parametri
  | condiție1 = rezultat1
  | condiție2 = rezultat2
  ...
  | condițien = rezultatn
 [| otherwise = rezultatn]
```

← opțional

Exemplu

```
allEqual a b c
     | a==b = b==c
     | otherwise = False
```

Au sens atunci când punem condiții asupra variabilelor, mai degrabă decât să le potrivim cu o anumită structură (caz în care am folosi pattern matching)

30

30

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii `.` și `$`
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

31

31

Legarea variabilelor în Haskell – statică

- Doar legare **statică**
- Expresii pentru legare locală: `let legări in expr`, `expr where legări`

Exemple

```
myFoldl f acc [] = acc
myFoldl f acc (x:xs) =
     let
          newAcc = f acc x
     in myFoldl f newAcc xs

myFoldr f acc [] = acc
myFoldr f acc (x:xs) = f x rightResult
     where rightResult = myFoldr f acc xs
```

Au sens pentru a spori lizibilitatea codului sau pentru a evita apelarea repetată a aceleiași funcții pe aceleași argumente

32

32

Limbajul Haskell – Cuprins

- Sintaxă
- Perechi și liste
- Funcții
- Pattern matching
- Operatorii . și $
- Expresii condiționale
- Legare statică
- Evaluare leneșă

33

33

Evaluare leneșă

- Toate funcțiile sunt **nestricte**
- **Evaluare leneșă**: **subexpresiile (argumentele) sunt pasate funcției fără a fi evaluate, în corpul funcției ele se vor evalua (eventual parțial) maxim o dată**

Exemple

```
1. f x = 2*x
2. g x = f 2 + f 2
3. h x = x*x*x
g 5              -- 2 aplicări distincte ale lui f => se evaluează de 2 ori
                 -- f 2 + f 2 -> 4 + f 2 -> 4 + 4 -> 8
h (f 2)          -- argumentul se evaluează o dată și se folosește de 3 ori
                 -- (f 2)*(f 2)*(f 2) -> 4*4*4 -> 64
```

34

34

Fluxuri

- Evaluare leneșă => toate **listele sunt fluxuri** (se evaluează în măsura în care e nevoie)

Exemple

```
naturals = let loop n = n : loop (n+1) in loop 0
ones = 1 : ones
fibonacci = 0 : 1 : zipWith (+) fibonacci (tail fibonacci)
evens = filter even naturals
```

35

35

Generarea intervalelor

```
[start..stop] sau [start..]
[start,next..stop] sau [start,next..] --next dă pasul
```

Exemple

```
[1..5]
[1,3..10]
[10,7..0]
[20,19.5..]
```

36

36

Generarea intervalelor

```
[start..stop] sau [start..]
[start,next..stop] sau [start,next..] --next dă pasul
```

Exemple

```
[1..5]        -- [1,2,3,4,5]
[1,3..10]     -- [1,3,5,7,9]
[10,7..0]     -- [10,7,4,1]
[20,19.5..]   -- lista infinită [20,19.5,19,18.5..]
```

37

37

List comprehensions

```
[ expr | generatori, condiții, legări locale ]
```

Întâi toate rezultatele pentru x=1, apoi toate pentru x=2, apoi toate pentru x=3

Exemple

```
lc1 = [ (x,y,z) | x<-[1..3], y<-[1..4], x<y, let z = x+y, odd z ]
fibo = 0 : 1 : [ x+y | (x,y) <- zip fibo (tail fibo) ]
qsort [] = []
qsort (x:xs) =
      qsort [ y | y<-xs, y<=x ] ++
      [x] ++
      qsort [ y | y<-xs, y>x ]
```

38

38

Rezumat

Perechi și liste

Funcții

. și $

Expresii condiționale

Expresii pentru legare locală

Evaluare leneșă

List comprehensions

39

39

Rezumat

Perechi și liste: (1,'a'), fst, snd, [1,2,3], [], :, head, tail, null, length, ++

Funcții

. și $

Expresii condiționale

Expresii pentru legare locală

Evaluare leneșă

List comprehensions

40

40

Rezumat

Perechi și liste: (1,'a'), fst, snd, [1,2,3], [], :, head, tail, null, length, ++

Funcții: \x y -> corp, f x y = corp

. și $

Expresii condiționale

Expresii pentru legare locală

Evaluare leneșă

List comprehensions

41

41

Rezumat

Perechi și liste: (1,'a'), fst, snd, [1,2,3], [], :, head, tail, null, length, ++

Funcții: \x y -> corp, f x y = corp

. și $: compunere de funcții / aplicație de funcție

Expresii condiționale

Expresii pentru legare locală

Evaluare leneșă

List comprehensions

42

42

Rezumat

Perechi și liste: (1,'a'), fst, snd, [1,2,3], [], :, head, tail, null, length, ++

Funcții: \x y -> corp, f x y = corp

. și $: compunere de funcții / aplicație de funcție

Expresii condiționale: if ... then ... else ..., case ... of (... -> ...), (| ... = ...)

Expresii pentru legare locală

Evaluare leneșă

List comprehensions

43

43

Rezumat

Perechi și liste: (1,'a'), fst, snd, [1,2,3], [], :, head, tail, null, length, ++

Funcții: \x y -> corp, f x y = corp

. și $: compunere de funcții / aplicație de funcție

Expresii condiționale: if ... then ... else ..., case ... of (... -> ...), (| ... = ...)

Expresii pentru legare locală: let ... in ..., ... where ...

Evaluare leneșă

List comprehensions

44

44

Rezumat

Perechi și liste: (1,'a'), fst, snd, [1,2,3], [], :, head, tail, null, length, ++

Funcții: \x y -> corp, f x y = corp

. și $: compunere de funcții / aplicație de funcție

Expresii condiționale: if ... then ... else ..., case ... of (... -> ...), (| ... = ...)

Expresii pentru legare locală: let ... in ..., ... where ...

Evaluare leneșă: argumentele nu se evaluează la apel, apoi se evaluează maxim o dată

List comprehensions

45

45

Rezumat

Perechi și liste: (1,'a'), fst, snd, [1,2,3], [], :, head, tail, null, length, ++

Funcții: \x y -> corp, f x y = corp

. și $: compunere de funcții / aplicație de funcție

Expresii condiționale: if ... then ... else ..., case ... of (... -> ...), (| ... = ...)

Expresii pentru legare locală: let ... in ..., ... where ...

Evaluare leneșă: argumentele nu se evaluează la apel, apoi se evaluează maxim o dată

List comprehensions: [expr | generatori, condiții, legări locale]
... <- ... let ... = ...

46

46